



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**REGULACE PŘÍTLAKU LAMELOVÝCH SPOJEK
DVOUSPOJKOVÉ PŘEVODOVKY**

ENGAGEMENT FORCE CONTROL OF MULTI-PLATE CLUTCHES OF DUAL CLUTCH GEARBOX

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Josef Horák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. Pavel Novotný, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Josef Horák
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Pavel Novotný, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Regulace přitlaku lamelových spojek dvouspojkové převodovky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá problematikou regulace přitlaku suché lamelové spojky s ohledem na zachování optimálních jízdních vlastností z hlediska komfortu a rychlosti ovládání. V rámci práce se předpokládá experimentální ověření dané problematiky na zkušebním zařízení nebo automobilu.

Cíle diplomové práce:

Rešerše výhod a nevýhod regulace pracovního bodu spojky s přitlakem vůči regulaci pracovního bodu spojky s prokluzem pro suché provedení spojky.
Experimentální ověření základních funkcí převodovky, jakými jsou řazení nebo změna zatížení.
Návrh optimálního přitlaku spojky pro vybranou jízdní situaci.
Analýza dopadu regulace spojky na akustiku ve vybraných jízdních situacích.

Seznam doporučené literatury:

FISCHER, R., KÜÇÜKAY, F. JÜRGENS, G. NAJORK, R. a B. POLLAK. The Automotive Transmission Book. 1. Berlin: Springer, 2015. ISBN 978-3-319-05263-2.

KIENCKE U. a L. NIELSEN. Automotive control systems. 2. Berlin: Springer, 2005. ISBN 3-54-23139-0.

STACHOWIAK, G. W. a A. W. BATCHELOR. Engineering Tribology. 3. Boston: Elsevier ButterworthHeinemann, 2005. ISBN 0-7506-7836-4.

DE SILVA C. W. Vibration and Shock Handbook. 1. Taylor and Francis Group. 2005.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá způsoby regulace rozjezdových spojek osobních automobilů a zejména převodovky DQ200, která má suché lamelové spojky.

V úvodu práce jsou popsány princip přenosu točivého momentu spojkou a velikost přitlačné síly, následně je popsán konstrukční princip rozjezdových spojek. Následuje popis ovládání uvedených druhů spojek.

Praktická část se zabývá možnostmi regulace ve velmi širokém pásmu, ze kterého je zvolena úzká část, která bude pro jízdní vlastnosti nejlepší. V další části je jízdními zkouškami nalezen vhodný způsob regulace spojek na základě jízdních dat. Následně jsou způsoby regulace spojek z užšího výběru testovány z hlediska akustiky. Na základě měření jízdních dat a akustiky je zvolen nejvhodnější způsob regulace spojek převodovky DQ200.

KLÍČOVÁ SLOVA

převodovka DQ200, spojky, prokluz, přetlak, gradient zrychlení, nárůst teploty na spojkách, doba řazení, celková hladina akustického tlaku

ABSTRACT

The master's thesis deals with ways of controlling starting clutches of cars, especially of DQ200 gearbox, which contains dry disc clutches.

The introduction describes basic principles of torque transfer and amount of clutch force. Then the description of construction of starting clutches and ways of controlling clutch types mentioned beforehand is given.

In the next part of the thesis, wide spectrum of control methods is measured, from which a certain part is selected. This is followed by driving tests and based on driving data, one method of the clutch control is chosen. Then those control methods from narrow selection are tested for acoustic impact in the cabin of the car. In the end the best way of clutch control is selected. The selection based on driving data and acoustic measurement.

KEYWORDS

DQ200 gearbox, clutches, slip, overpressure, acceleration gradient, clutch temperature increase, gearchange time, total sound pressure level

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORÁK, Josef. *Regulace přítlaku lamelových spojek dvouspojkové převodovky*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124676>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 59 s. Vedoucí práce Pavel Novotný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Pavla Novotného a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 4. června 2020

.....

Jméno a přímení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce, panu doc. Ing. Pavlu Novotnému Ph.D. za cenné rady a připomínky při tvorbě diplomové práce. Dále děkuji společnosti ŠKODA AUTO a.s. a panu Ing. Petru Večeřovi Ph.D. za poskytnutí interních informací, měřicí techniky a konzultace ve společnosti ŠKODA AUTO. Také bych chtěl poděkovat rodině za podporu při studiu a tvorbě diplomové práce.

OBSAH

Úvod.....	9
1 Spojky v osobních automobilech	10
1.1 Požadavky kladené na spojky.....	10
1.2 Typy spojek v osobních automobilech	11
2 Řízení spojek v osobních automobilech	16
2.1 Řízení suchých spojek, manuálně ovládaných	16
2.2 Řízení hydrodynamického měniče točivého momentu.....	18
2.3 Řízení dvojitých spojek s mokkými lamelami	19
2.4 Řízení dvojitých spojek se suchými lamelami	20
3 Experimentální ověření funkcí převodovky	24
3.1 Popis postupu při experimentálním ověření zvolených funkcí převodovky	24
3.2 Požadovaný prokluz 5 min ⁻¹	26
3.3 Požadovaný prokluz 30 min ⁻¹	28
3.4 Požadovaný prokluz 60min ⁻¹	31
3.5 Požadovaný prokluz 100 min ⁻¹	33
3.6 Přetlak 125 % motorového momentu	35
3.7 Přetlak 150 % motorového momentu	37
3.8 Přetlak 200 % motorového momentu	38
3.9 Shrnutí.....	40
4 Návrh optimálního přitlaku.....	41
4.1 Provoz s přetlakem spojky 105%	41
4.2 Provoz s proměnným prokluzem 1	42
4.3 Provoz s proměnným prokluzem 2	44
4.4 Návrh optimálního přitlaku spojky	45
5 Analýza dopadu regulace spojky na akustiku.....	48
5.1 Popis měření	48
5.2 Vyhodnocení hladiny akustického tlaku v oblasti hlavy řidiče.....	50
5.3 Vyhodnocení výsledků měření akustiky	54
Závěr	55
Použité informační zdroje	57
Seznam použitých zkratk a symbolů	59

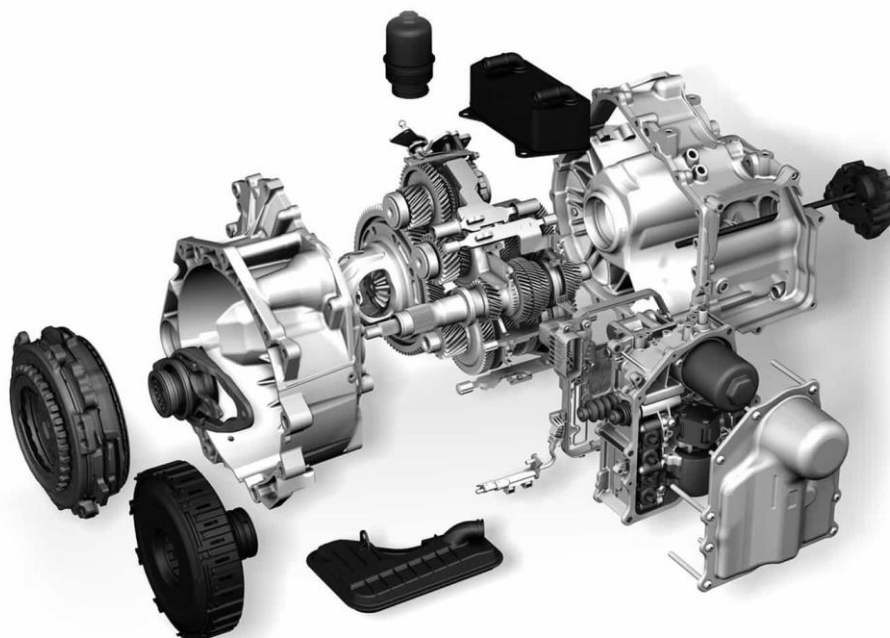
ÚVOD

Předkládaná diplomová práce byla zpracována ve spolupráci se společností ŠKODA AUTO a.s. Díky této spolupráci bylo možné provádět jízdní zkoušky přímo na vozidlech a teoretická část byla ověřena v praxi, v reálném provozu.

Diplomová práce se zabývá způsoby regulace a ovládáním rozjezdových spojek v osobních automobilech. První teoretická část práce je věnována porovnání regulace různých druhů spojek v současnosti používaných u osobních automobilů, ve spojení s automatickými i manuálně ovládanými převodovkami. V následující analytické části je detailněji zkoumán současný stav provozu suchých lamelových spojek převodovky DQ200, který je porovnáván s různými velikostmi prokluzu a přetlaku, z nichž je navržen takový, který nejvíce vyhovuje zvoleným kritériím (gradient zrychlení, nárůst teploty na spojkách, čas řazení) pro užívání vozu v každodenním provozu. Optimální způsob provozu spojek byl stanoven na základě fyzikálních parametrů a subjektivního pocitu posádky vozu.

Poslední část práce se soustředí na zhodnocení vlivu zvolených velikostí přtlaku spojek na akustiku a vibrace při jednotlivých jízdních situacích. V rámci ověření vlivu přtlaku spojek na akustiku bylo využito i klimatické komory, jelikož převodovky jsou velmi citlivé na chrastění při teplotách pod bodem mrazu.

Cílem práce je navrhnout nejvhodnější velikost přtlaku spojek s ohledem na pohodlí, emise, zahřívání spojkového obložení a s tím spojené opotřebení a v neposlední řadě s ohledem na hluk a vibrace.



Obr. 1. Rozklad převodovky DQ200 [1]

1 SPOJKY V OSOBNÍCH AUTOMOBILECH

Spojky v osobních automobilech jsou používány zejména z důvodu startu a rozjezdu vozidla. Spalovací motory totiž pro provoz potřebují volnoběžné otáčky a nedokáží poskytovat dostatečný točivý moment od nulových otáček. Pro změnu rychlostního stupně je třeba přerušit tok točivého momentu do převodovky, aby bylo možné pohodlně změnit převodový poměr. Pro přerušení toku točivého momentu u automobilových převodovek se taktéž používá spojka.

1.1 POŽADAVKY KLADENÉ NA SPOJKY

Základní požadavky kladené na rozjezdové spojky dle [2]:

- spolehlivě přenášet hnací moment od motoru na vstupní hřídel převodovky,
- umožnit měkký a plynulý rozjezd vozidla bez rázů, škubání a zbytečného prokluzování,
- přenést větší točivý moment, než je maximální točivý moment motoru,
- krátkodobé přerušení přenosu točivého momentu od motoru pro přeřazení,
- tlumit torzní kmity,
- ochrana dílů převodovky proti přetížení,
- ovládání spojky malými silami (hlavně v případě manuálního ovládání).

1.1.1 VÝPOČET SPOJKOVÉHO MOMENTU

Spojku je zapotřebí pro přenos dostatečného točivého momentu dimenzovat. Při znalosti maximálního točivého momentu motoru je možné dopočítat velikost přitlačné síly membránové pružiny či ovládacího ventilu spojky.

Spojka musí být schopna přenést větší točivý moment, než je maximální točivý moment motoru. Proto se dlouhodobě maximální přenášený moment motoru musí násobit provozním součinitelem k_s , který zajistí, že v případě krátkodobého přetížení spojky (např. při uvíznutí vozidla) bude přenesen požadovaný točivý moment. Dále je počítáno s momentem setrvačnosti rotačních hmot transmise. Velikost provozního součinitele je stanoven podle typu motoru, u jednoválcových motorů je velikost $k_s = 2,5 - 4$; pro dvouválcové motory je $k_s = 2 - 3,5$; pro víceválcové či elektrické motory je hodnota provozního součinitele stanovena $k_s = 1,5 - 3$. [3]

Moment na spojce lze stanovit pomocí vztahu:

$$M_s = k_s \cdot M_{mot}. \quad (1)$$

Když je známý potřebný spojkový moment, je možné vypočítat přitlačnou sílu od membránové pružiny. Za předpokladu, kdy:

$$M_s = F_t \cdot r_s \cdot i. \quad (2)$$

F_t - je třecí síla, r_s je účinný poloměr spojky, i je počet třecích ploch. F je normálová síla, μ je součinitel tření. Plocha spojky je kruhový prstenec, proto je třeba určit účinný poloměr spojky.

$$F = p \cdot S. \quad (3)$$

$$F_t = p \cdot S \cdot \mu.$$

$$F = p \cdot 2\pi \cdot \int_{r_1}^{r_2} r \, dr. \quad (4)$$

$$dF_t = p \cdot \mu \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr.$$

Z rovnice (2):

$$dM_s = p \cdot \mu \cdot i \cdot 2\pi \cdot r^2 \cdot dr.$$

$$M_s = p \cdot \mu \cdot 2\pi \cdot i \cdot \int_{r_1}^{r_2} r^2 \cdot dr = p \cdot \mu \cdot \frac{2}{3} \pi \cdot i \cdot (r_2^3 - r_1^3). \quad (5)$$

Po vyjádření síly F z rovnice (4) a dosazení do rovnice (5) je možné vyjádřit velikost potřebné přitlačné síly membránové pružiny.

$$F = \frac{3M_s}{2\mu \cdot i} \cdot \frac{(r_2^2 - r_1^2)}{(r_2^3 - r_1^3)} \text{ [N]}.$$

za předpokladu, že r_2 je větší z poloměrů.

F je síla pružiny potřebná pro přenos spojkového momentu při součiniteli tření μ , velikosti spojkového prstence $r_1 - r_2$ a počtu třecích ploch i .

1.2 TYPY SPOJEK V OSOBNÍCH AUTOMOBILECH

V osobních automobilech se spalovacími motory je využíváno několik druhů spojek v závislosti na použití převodovky v kombinaci se spalovacím motorem. Při volbě spojky také rozhoduje cena a hmotnost spojky a typ převodovky. V současnosti jsou v osobních automobilech používány následující druhy spojek:

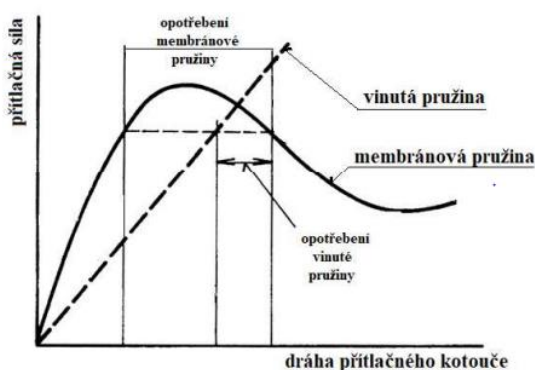
- suché kotoučové spojky, manuálně ovládaná,
- dvojité spojka s mokkými lamelami
- dvojité spojka se suchými lamelami,
- hydrodynamický měnič točivého momentu.

1.2.1 SUCHÉ KOTOUČOVÉ SPOJKY, MANUÁLNĚ OVLÁDANÉ

Jan a Ždánský [4] uvádí, že automobily s manuální převodovkou jsou vybaveny lamelovou spojkou s membránovou pružinou. Primárně je spojka v sepnutém stavu. Pro její rozpojení řidič musí sešlápnout spojkový pedál, který (většinou pomocí hydraulického tlaku) spojku rozpojí. Spojky u automobilů umožňují změnu rychlostního stupně v převodovce, protože přerušují tok točivého momentu od motoru, tím uvolní ozubená kola převodovky od silového záběru a poté lze přehradit. Důvodem, proč se nejen v osobních automobilech používají převodovky, je umožnění provozu vozidla ve vyšších rychlostech při omezení otáčkového rozsahu motoru.

Podle [4] je u současných automobilů pro přitlak spojky používána membránová, dříve talířová pružina. Vinuté tlačné pružiny byly používány až do 70. let 20. století, ovšem membránová pružina je vhodnější díky své charakteristice. Charakteristika vinuté pružiny je taková, že s rostoucím stlačením roste síla potřebná na další stlačení, ale u membránové pružiny po překonání daného stlačení síla potřebná pro další stlačení klesá. Další výhodou membránové pružiny je, že při opotřebení obložení přitlačná síla roste, naopak při použití

vinutých pružin pro ovládání spojky je třeba myslet na dostatečné předpětí pružin i po opotřebení spojkového obložení.

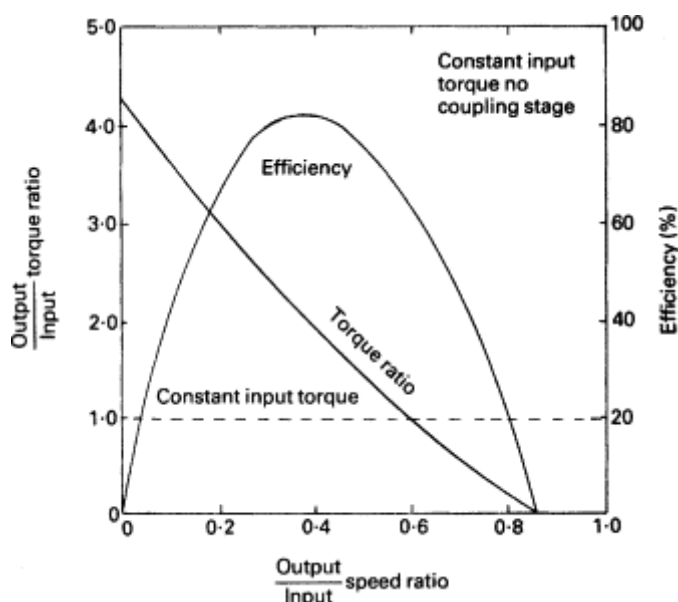


Silová charakteristika membránové a vinuté pružiny

Obr. 2. Charakteristika vinuté a membránové pružiny [4]

1.2.2 HYDRODYNAMICKÝ MĚNIČ TOČIVÉHO MOMENTU

Měnič točivého momentu vychází z hydrodynamické spojky, která má stejné konstrukční základy, kromě statoru na volnoběžce. Tímto prvkem se od sebe hydrodynamická spojka a měnič točivého momentu liší. K přenosu síly dochází pomocí kinetické energie oleje, který je uváděn do pohybu čerpadlem měniče. Při přechodu do turbíny předává olej část kinetické energie na lopatky turbíny a poté klesá na vnitřní poloměr turbíny, kudy se vrací do čerpadla. Před přechodem do čerpadlové části se však ještě předá další část kinetické energie na lopatky statoru. Jak již samotný název vypovídá, stator je umístěn na volnoběžce.

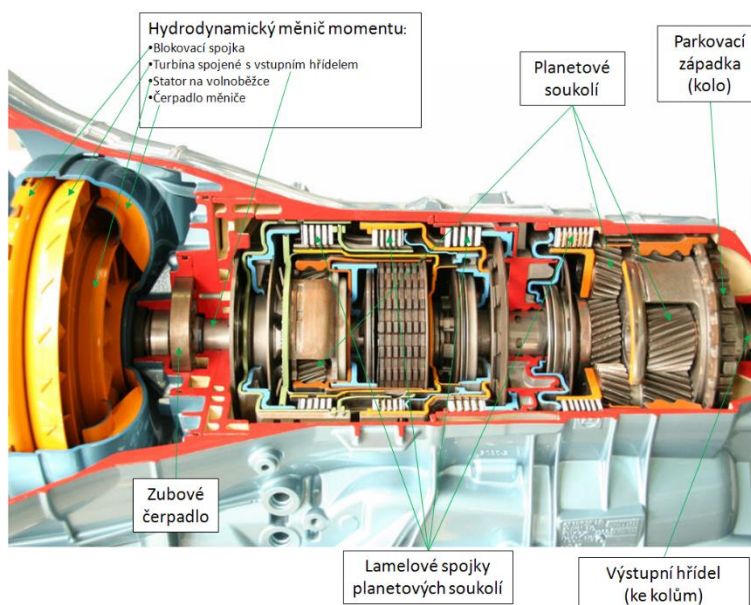


Obr. 3. Charakteristika měniče točivého momentu. [13]

Hydrodynamický měnič je používán ve spojení s automatickou převodovkou, ve které je změna převodového poměru realizována pomocí několika planetových soukolí, osazených spojkami a brzdami. Hydrodynamický měnič nahrazuje lamelovou spojku, slouží k přenosu síly

od motoru k převodovce, a to pomocí hydrodynamické síly oleje v měniči. Automatická převodovka je používána v osobních automobilech, ale také ve vysokozdvizných vozících a terénních vozidlech. Vozy s tímto typem převodovky disponují plynulými rozjezdy. Účinnost těchto převodovek je však nižší, s čímž je spojena vyšší spotřeba. Je vhodné párovat je se silnějšími motory. Součástí měniče je i klasická lamelová spojka, která při sepnutí vyřadí z provozu měnič a zvyšuje tím účinnost. Tato spojka je aktivována v případě, že rozdíl otáček čerpadla a turbíny se blíží nule. [5]

Spojka měniče točivého momentu, představená jako zařízení zvyšující účinnost, je třecí zařízení ovládané tekutinou, které je spojitelné s oběžným kolem (vstup) a turbínou (výstup) hydraulického měniče točivého momentu. V obvyklé aplikaci je spojka buď zcela uvolněna, aby se umožnilo neomezené prokluzování mezi oběžným kolem a turbínou, nebo zcela zablokována, aby se takovému prokluzu úplně zabránilo. Nešťastným aspektem úplného zapojení spojky měniče je to, že poruchy nebo točivé momenty motoru normálně absorbované měničem točivého momentu jsou vedeny přes spojku přímo ke zbytku hnacího ústrojí vozidla a mohou v nich vyvolat nepříjemné pulzy, pokud nejsou řádně tlumeny. Tento faktor omezuje použití spojky měniče točivého momentu na specifické provozní podmínky vozidla, pro které jsou minimalizovány nepříjemné účinky. Výsledkem je, že potenciální zvýšení účinnosti, které bylo dosaženo zapojením spojky měniče točivého momentu, bylo realizováno pouze v části rozsahu provozu vozidla. [5]



Obr. 4. Řez modelem automatické převodovky s hydrodynamickým měničem točivého momentu. [6]

1.2.3 DVOJITÉ SPOJKY S MOKRÝMI LAMELAMI

Převodovka DSG s dvojitou mokrou spojkou vychází z převodovky PDK (Porsche Doppelkupplung). Spojky v této převodovce jsou vícelamelové, ovládané hydraulickým tlakem akčních členů mechatroniky. Spojky jsou dimenzovány dle maximálního točivého momentu motoru. Dvojité mokré spojky jsou použity v DSG převodovkách, které jsou párovány s motory dosahujícími maximum točivého momentu vyššího než 250 Nm v osobních automobilech koncernu VW. Spojky jsou normálně otevřené, po přivedení tlakového oleje do akčních členů mechatroniky jsou spojeny, v daném momentě je připojena pouze jedna spojka. Jak bylo zmíněno, spojky jsou ovládány tlakovým olejem o tlaku až 2 MPa. Konstrukčně jsou

tyto spojky odlišné od spojek se suchými lamelami, konstrukčně podobné spojkám planetových soukolí v automatických převodovkách s hydrodynamickým měničem momentu. Obě spojky obsahují 4 páry třecích ploch, rotujících v olejové lázni. Dle požadavků je přiveden tlakový olej k dané spojce, čímž dochází ke spojení třecích párů spojky. Obě dvě spojky jsou v základu otevřené pomocí vinuté pružiny. Zpracováno dle [7].

Ovládání spojek je realizována pomocí pákových pružin podobných stavu techniky používaných v suchých, aktivně uzavřených spojkách. Síla působí neotáčejícími se statickými ovládacími prvky prostřednictvím záběrových ložisek na pákové pružiny otáčející se při otáčkách motoru. Záběrová ložiska jsou tedy rozhraním mezi stacionárními a rotujícími částmi. Páková pružina je zavěšena ve vnějším nosiči disku a ovládá kontaktní kroužek, který stlačuje sestavu disku k sobě. Pokud dojde k selhání pohonu, spojka se otevře automaticky kvůli síle pákové pružiny. Vnější ovládací síly jsou neseny přímo na ložisku krytu, takže klikový hřídel je bez axiálních sil. [7]

Díky olejové lázni jsou třecí páry spojek lépe chlazeny a je tak možné je více zatížit ve srovnání se suchými spojkami. Z toho vyplývá, že při opakovaných prudkých rozjezdech, které jsou ze všech jízdních situací nejnáročnější pro celou transmisí, zejména pak pro spojky, nedochází ke snižování součinitele tření v důsledku přehřátí třecích párů, díky chlazení olejem. Nevýhodou těchto spojek je potřeba vlastního olejového čerpadla, které je poháněno buď elektricky, nebo mechanicky od motoru. V každém případě to znamená další zatížení motoru a odběr výkonu na příslušenství. Bez potřeby tohoto pohonu by mohl být výkon využit na přenesení větší síly na kola. To s sebou přináší vyšší spotřebu paliva. Převodovka je vybavena chladičem oleje, který zajistí optimální pracovní teplotu oleje ve spojkovém prostoru pro provoz automobilu. Nevýhodou je vyšší hmotnost a také vyšší spotřeba energie z důvodu druhého olejového okruhu a nutnosti použití chladiče. [7]

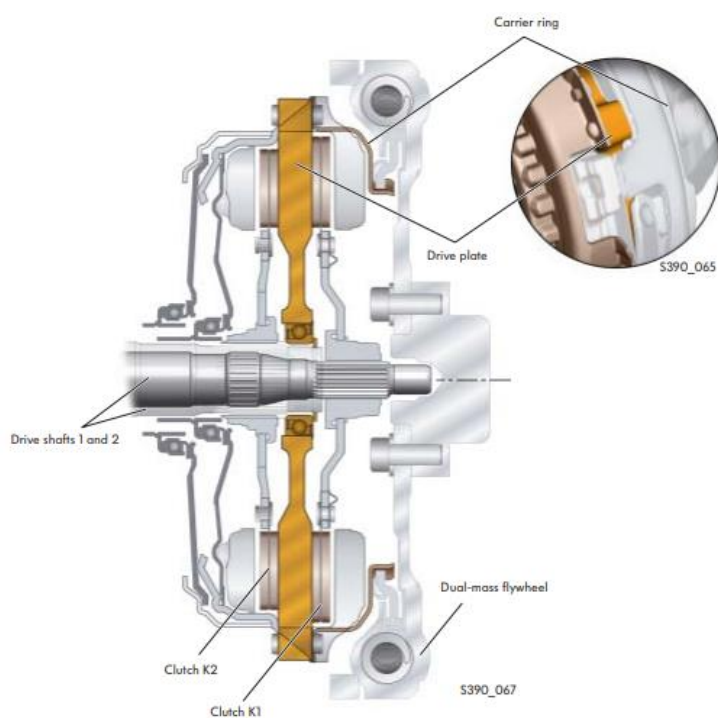


Obr. 5. DSG převodovka s mokrými spojkami. [7]

1.2.4 DVOJITÉ SPOJKY SE SUCHÝMI LAMELAMI

DSG převodovka obsahuje dva hnací hřídele, z nichž jeden je dutý. Každý hřídel přenáší točivý moment od motoru přes spojku usazenou na hřídel přes drážkování. Dutý hřídel je osazena ozubením pro sudé rychlostní stupně a kolo zpětného chodu, druhý hnací hřídel je osazena ozubenými koly pro liché rychlostní stupně. Celkem má převodovka DQ200 sedm dopředných rychlostních stupňů a zpětný chod. Spojky převodovky DSG jsou primárně v rozepnutém stavu. [8]

V současnosti jsou používány DSG převodovky se dvěma typy spojek. Pro spojení s motory s vyššími výkony a větším točivým momentem jsou používány tzv. „mokrě“ spojky, jak bylo zmíněno v kapitole 1.2. Tento druh spojek má výhodu v tom, že neumožní přehřátí spojky. DSG se suchými spojkami jsou použity ve spojení s motory do 250 Nm. Výhodou suchých spojek je menší hmotnost a menší zástavbové rozměry. Nevýhoda spočívá v riziku přehřátí spojek při velkém zatížení vozu, jako je např. mnoho rozjezdů do prudkého kopce při plně obsazeném voze. Tomu by se mělo předcházet vhodnou aplikací rozjezdových parametrů. [7,8]



Obr. 6. Schéma dvojíých suchých lamelových spojek [9]

2 ŘÍZENÍ SPOJEK V OSOBNÍCH AUTOMOBILECH

2.1 ŘÍZENÍ SUCHÝCH SPOJEK, MANUÁLNĚ OVLÁDANÝCH

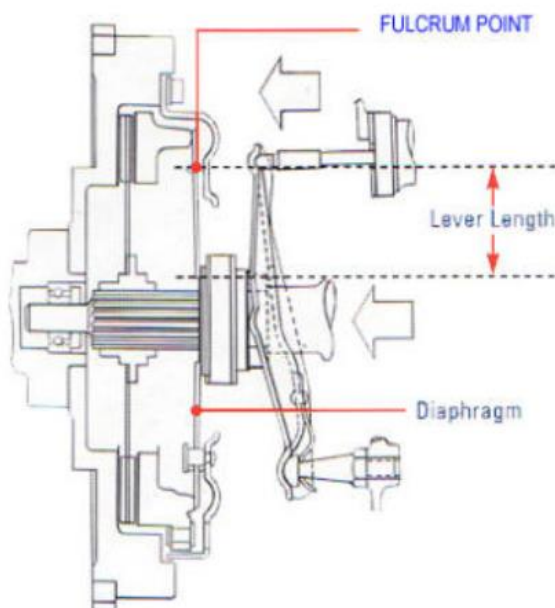
Suché, manuálně ovládané spojky jsou použity u manuálních převodovek, u kterých je řidičem určováno, přes jaký převodový stupeň je realizován přenos točivého momentu motoru na kola. Spojky u manuálních převodovek jsou primárně v sepnutém stavu, pro přeřazení je potřeba spojku rozpojit, a tak přerušit tok točivého momentu. V současnosti jsou převodovky u osobních automobilů ovládány hydraulicky. Hydraulika spojky je sdílená s hydraulickým okruhem brzd. Toto řešení je vhodné z důvodu úspory materiálu a zároveň je brzdová kapalina pro tento princip vhodná z důvodu vysoké teploty varu. Spojky u manuálních převodovek jsou v sepnutém stavu přitlačovány takovou silou, aby přes ně bylo možné přenést 1,5 až 3násobek maximálního točivého momentu motoru, jak bylo uvedeno v kapitole 1.1.1. Membránová pružina proto musí být adekvátně dimenzována tomuto požadavku. [10],[11]

Pro manuálně ovládané spojky nepřipadá provoz s prokluzem v úvahu. Řidič nemá dostatek informací o velikosti točivého momentu dodávaného motorem, a i v případě, že by měl, je nereálné, aby se při řízení mohl soustředit na úpravu velikosti momentu přenášeného spojkou. I v případě, že by toto bylo realizovatelné, nepřineslo by to žádné zlepšení v případě rychlosti řazení, naopak by se zvýšilo riziko spálení spojky.

Jak uvádí Macháček [10], při sešlápnutí spojky dojde ke stlačení brzdové kapaliny v hlavním spojkovém válci, čímž dojde k vysunutí pístu. Ten působí silou na vypínací páku, která silově působí na vypínací ložisko, které je spojeno s membránovou pružinou. Uvolněním pružiny dojde k přerušení silového styku mezi setrvačником a lamelou spojky. U osobních automobilů je používáno dvou druhů vypínání spojek:

- tažné,
- tlačné.

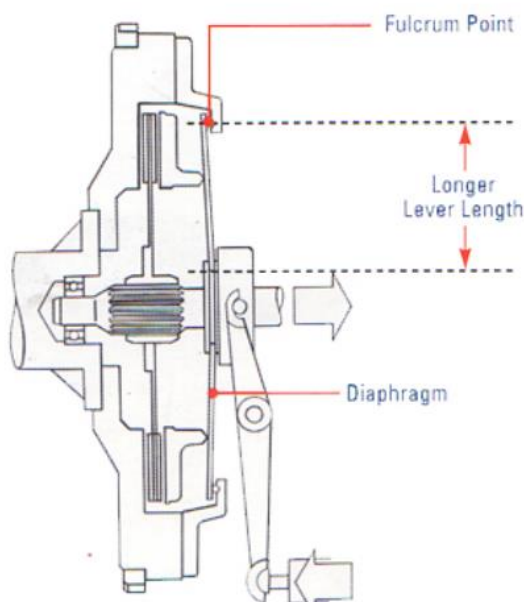
U tlačné membránové pružiny je při vypnutí ložisko zatlačeno směrem k setrvačniku a membránová pružina je v krytu přitlačného kotouče uložena tak, že její zvrtný bod je umístěn na větším poloměru než bod, ve kterém je styk pružiny s přitlačným kotoučem, viz obrázek 7.



Obr. 7. Schéma tlačného mechanismu vypínání spojky [12]

Podle Macháčka [10] je tento typ spojky používán častěji u běžných osobních automobilů. Je více uživatelsky přívětivý, nedosahuje však přenosových charakteristik jako spojka s tažnou membránovou pružinou.

Spojka s tažným způsobem vypínání je ovšem náročnější na výrobu, používá se u osobních automobilů s vysokým výkonem motoru, anebo v užitkových vozech. Zvratný bod membránové pružiny je na menším poloměru, než je bod styku pružiny s přitlačným kotoučem, viz obrázek 8.



Obr. 8. Schéma tažného mechanismu vypínání spojky [12]

2.2 ŘÍZENÍ HYDRODYNAMICKÉHO MĚNIČE TOČIVÉHO MOMENTU

Samotný měnič točivého momentu nevyžaduje žádný zásah pro řízení, protože není třeba žádného rozpojení mechanických částí, jelikož přenos točivého momentu je realizován kinetickou energií kapaliny, resp. oleje s aditivy. Konstrukce a náplň měniče je dimenzována tak, aby nebyla zapotřebí žádná údržba. Jak již bylo zmíněno, pro další zvyšování efektivity byla přidána mechanická třecí spojka ovládaná hydraulicky. Grimes [13] uvádí, že v běžné aplikaci tohoto typu měniče je spojka buď plně otevřená (základní stav), nebo plně zavřená. Při tomto stavu však do transmise a jízdního komfortu pronikají torzní kmity momentu (pokud nejsou řádně tlumeny), které jsou normálně zachyceny měničem. Tento faktor je dosti limitujícím pro použití mechanické spojky u měniče.

Z výše uvedených důvodů se začala mechanická spojka provozovat s prokluzem, který byl řízený uzavřenou smyčkou. Toto řešení se však zdálo být nevhodné z důvodu časového zpoždění od doby zjištění chyby ve velikosti prokluzu do reakce hydraulických prvků. V době aplikování požadované korekce na přítláčnou sílu spojky už mohla být velikost chyby změněna. Díky tomu se vyskytovala značná míra nestability systému. Z tohoto důvodu bylo od řízení uzavřenou smyčkou upuštěno. [13]

V rámci současného vývoje už není spojka řízena na základě velikosti chyb v prokluzu (měřených rozdílem otáček turbíny a čerpadla měniče), ale na základě velikosti požadovaného skluzu spojky. Kdykoliv hodnota skluzu dosáhne hodnoty vyšší, než je hodnota požadovaná, řídicí mechanismus spojky navýší momentovou kapacitu spojky a naopak. V obou případech se řízení momentové kapacity provádí podle předem stanovené charakteristiky časové odezvy, která umožňuje stabilní regulaci průměrného množství prokluzu při izolaci poruch točivého momentu motoru od zbytku hnacího ústrojí vozidla. Poruchy točivého momentu motoru a tím vzniklé změny skluzu se vyskytují při relativně vysoké frekvenci s ohledem na čas. Předem stanovená charakteristika časové odezvy podle tohoto vynálezu zabraňuje ovladači významně upravit točivou kapacitu spojky v reakci na ni. [13]

Stejně jako u jiných systémů řízení převodovky, které zcela zapínají spojku, existují určité provozní podmínky, pro které není řízení momentové kapacity podle tohoto způsobu žádoucí. Například, když řidič požaduje velké zvýšení výkonu, měla by být spojka rozpojena, aby se umožnilo motoru navýšit otáčky a aby se využilo násobení točivého momentu, které poskytuje měnič. Náhlé rozpojení nebo uvolnění spojky za těchto podmínek však může způsobit nepříjemné trhnutí hnací soustavou. Tento problém je překonán řídicím systémem postupným snižováním točivé kapacity spojky regulovanou rychlostí, dokud není zcela rozpojena, čímž je zajištěno řízené a netrhavé uvolňování spojky. Když zpětně nastanou vhodné podmínky pro připojení spojky, zvyšuje se točivý moment spojky v souladu s předem stanovenou charakteristikou časové odezvy regulátoru. [13]

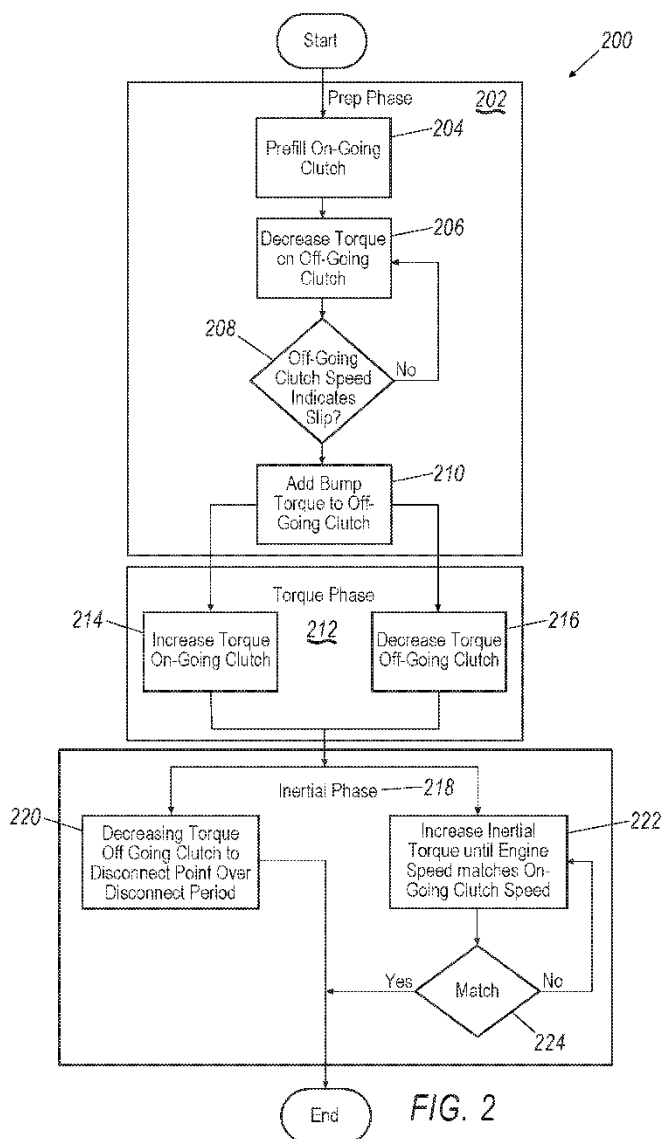
Dle výše zmíněných informací je vhodné spojku ve spojení s hydrodynamickým měničem provozovat ve skluzu, případně pro rozjezdy zachovat plně otevřenou. Tlumení nelinearit v průběhu točivého momentu je nejlépe dosaženo v měniči, který už ze své podstaty konstrukce není schopen přenášet momentové rázy. Pro dosažení nejvyšší účinnosti přenosu momentu do částí transmise by bylo vhodné provozovat spojku v plně sepnutém stavu a měnič používat např. pouze pro rozjezdy. Toto řešení by však mělo velký vliv na kvalitu a komfort jízdy. Proto se zdá, s ohledem na zachování komfortu a současné zvýšení účinnosti nejvhodnější používat spojku v prokluzu. S ohledem na přehřívání spojky a zachování komfortu je třeba stanovit optimální velikost prokluzu. V případě přehřátí spojky je možné

spojky rozpojit, aby došlo k jejímu ochlazení, zároveň však nedojde k přerušení toku momentu na kola, jelikož měnič je schopen, byť s menší účinností, točivý moment dále přenášet.

2.3 ŘÍZENÍ DVOJITÝCH SPOJEK S MOKRÝMI LAMELAMI

Základní způsob řízení spojek u DSG převodovek s mokrými spojkami, ve vozech koncernu VW je v procesu mikro-prokluzu.

Pro vyřešení problémů s hladkostí přenosu momentu a velkými třecími ztrátami při řízení spouštění převodovky s duální mokrou spojkou a podle strukturálních charakteristik DSG byly vyvinuty strategie řízení spouštění dvou převodových stupňů spolupracujících v procesu spouštění a vývojový diagram řízení DSG startu byl definován. Přesná regulace tlaku spojky byla získána pomocí regulace tlaku spojky na základě PID regulace. Řídící strategie byly ověřeny pomocí startovacího testu tří různých požadavků na točivý moment motoru a následného start-stop v krátkém čase. Experimentální výsledky ukazují, že metoda regulace tlaku spojky má silnou použitelnost a strategie řízení spouštění se mohou přizpůsobit různým podmínkám startu vozidla. Mokrý spojky DSG převodovek mají výhodu oproti suchým ve vyšší účinnosti chlazení díky olejové lázni. Olej prochází skrz chladič, čímž je udržování optimální teploty třecích párů snadnější a je zde velmi malá pravděpodobnost, že dojde k zahřátí na tak vysokou teplotu, že spojky ztratí schopnost přenášet točivý moment od motoru. [14]



Obr. 9. Schéma řízení křížení spojek u DSG s mokkými spojkami [14]

2.4 ŘÍZENÍ DVOJITÝCH SPOJEK SE SUCHÝMI LAMELAMI

Převodovka DQ200 druhé generace používá dvou suchých spojek, které jsou automaticky ovládány mechatronikou převodovky. Jedinou akční veličinou spojky, kterou lze přímo řídit, je přitlak spojky. V závislosti na ní je řízená i velikost přeneseného točivého momentu. Pro zjednodušení není v následujícím vysvětlení uvažována elasticita. [15]

V současnosti je převodovka DQ200 používána při normálním provozu s mikroprokluzem. Požadovaná hodnota prokluzu je defaultně nastavena na 5 min^{-1} . V určitých situacích je možné spojku provozovat s přetlakem, jako u manuálně ovládaných převodovek.

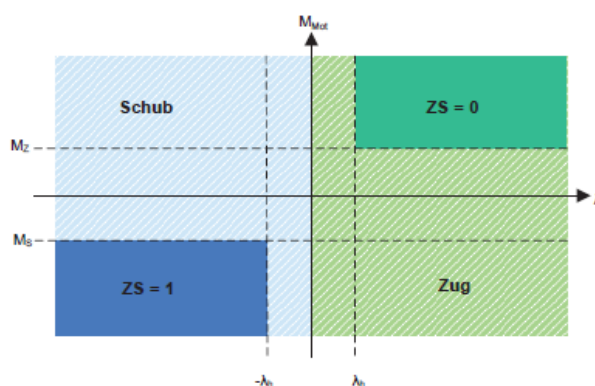
Pro správné fungování převodovky DQ200 je důležité, aby řídicí jednotka správně dopočítala polohu kisspointu. To je bod, kdy se lamela spojky již dotýká setrvačnicku, ale není přenášeny žádný točivý moment. Do tohoto bodu je spojka nastavena při řazení, těsně před

křížením spojek. Pokud by byl kisspoint špatně nastaven, znamenalo by to, že převodovka nepracuje správně. Druhá spojka, která není v záběru, je mimo řadicí proces plně otevřená a nastavená na přenos -100 Nm (dle sběrnice CAN). V tomto bodě není ovládací ventil spojky bez tlaku oleje, protože by hrozilo zavzdušnění ovládacího systému. Ve ventilu spojky je minimální ovládací tlak P_{\min} . Správné nastavení kisspointu je klíčové pro správnou funkci převodovky DQ200.

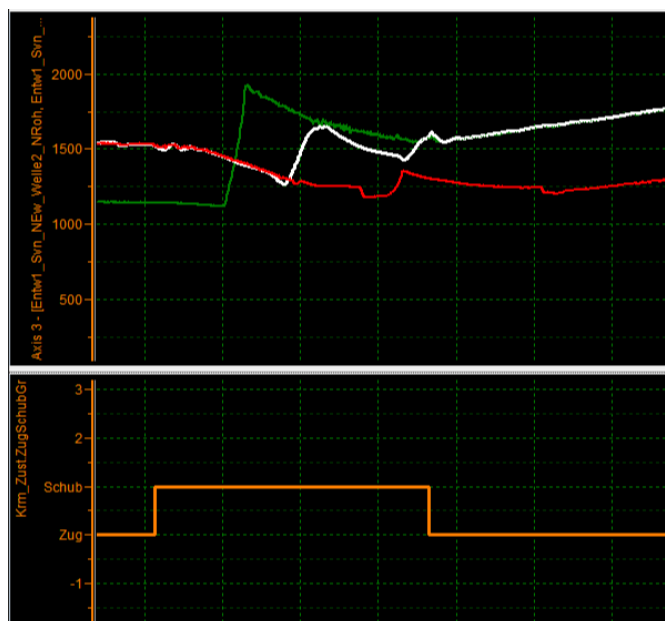
2.4.1 STAV SPOJKY

Spojka se, dle Neubauera [15], během provozu nachází ve dvou stavech, které se od sebe liší směrem a znaménkem prokluzu. Prvním ze stavů je takový, kdy klikový hřídel motoru má vyšší otáčky než vstupní hřídel převodovky a tento stav se nazývá „Zug“. V opačném případě, kdy vstupní hřídel převodovky má vyšší otáčky než klikový hřídel motoru, se stav nazývá „Schub“ (do tohoto stavu se převodovka přepíná např. v případě brždění motorem), a hodnota prokluzu nabývá záporných hodnot.

Při měření na sběrnici CAN lze pozorovat, že signál stavu spojky je dvoustavový (obrázek 11). Hodnota tohoto dvoustavového parametru je určena na základě otáček hřídelů převodovky a motoru, společně s velikostí točivého momentu motoru. V případě, že jedla z veličin dosáhne krajní hodnoty, stav spojky se změní. Zpracováno dle [15].



Obr. 10. Určení Zug, nebo Schub stavu spojky [15].



- Otáčky hřídele převodovky č. 1.
- Otáčky hřídele převodovky č. 2.
- „Zug – Schub“ stavový integrátor spojek.
- Otáčky klikového hřídele motoru.

Obr. 11. Změna Zug – Schub stavu spojky při reálné jízdní situaci.

2.4.2 PROVOZ S PŘETLAKEM SPOJEK

Hlavním cílem funkce je spojit setrvačník a spojku přenášející moment tak, že nedochází k prokluzu spojky, tzn. rozdíl úhlových rychlostí mezi spojkou a setrvačníkem je nulový. To je dosaženo požadavkem řídicí jednotky na vyšší hodnotu přenášeného točivého momentu spojkovým třecím párem, než je točivý moment motoru. K aktivaci přetlaku spojky dochází tak, že minimální točivý moment, požadovaný regulátorem MS, je odpovídajícím způsobem navýšen. Zpracováno dle [15].

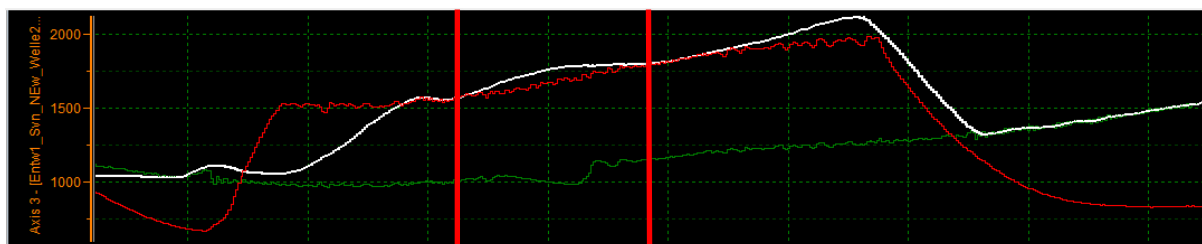
Točivý moment motoru je použit pro výpočet minimální hodnoty točivého momentu přenášeného aktivní spojkou. Řídicí jednotka umožňuje manuálně vybrat, zda pro výpočet momentu spojky bude použit signál udávající velikost motorového momentu bez, nebo s filtrací (velikost filtrovaného točivého momentu motoru je vždy menší). Ve stavu převodovky „jízda“ není stav přetlaku spojky povolen, může být však vyvolán dvěma způsoby. Prvním z nich je pomocí zvláštního jízdního stavu (např. ACC, manuální režim atd.) a druhý způsob je tzv. „funkční“ přetlak spojky, který je aktivován těmito případy, podle [15]:

- chřastění převodovky (jízda po dlažebních kostkách),
- prokluz spojky z důvodu změny koeficientu tření (vlhké spojky),
- jízda při zařazeném nejvyšším rychlostním stupni.

POROVNÁNÍ PROVOZU SPOJEK V MIKRO-PROKLUZU A PŘETLAKU

Každý z typů provozu spojky s sebou přináší své výhody a nevýhody. V teorii velkou výhodou provozu s prokluzem je tlumení nerovnoměrností v průběhu točivého momentu motoru. Dále, díky přesně známé poloze ovládacího ventilu spojky, je možné spojky přepínat rychleji, právě proto, že není třeba snižovat nadměrný tlak v hydraulicky ovládaném ventilu.

Naopak, při jízdě v režimu přetlaku spojky je vyšší účinnost v přenosu točivého momentu, protože nedochází k rozdílu úhlových rychlostí mezi setrvačником a lamelou spojky. Díky pevnému spojení nebude docházet k cukání vozu v důsledku špatně nastavené regulace, popř. nenastane situace prokluzu vlhkých spojek, kdy dochází ke krátkodobě většímu prokluzu spojky, než je požadovaná hodnota.



— Otáčky hřídele převodovky č. 1.

— Otáčky hřídele převodovky č. 2.

— Otáčky klikového hřídele motoru.

Obr. 12. Příklad vlhkých spojek

Další výhodou provozu spojek s přetlakem je absence prokluzu, který zvyšuje opotřebení spojek, a třecí energie je při prokluzu přeměněna na teplo. U mokrých spojek je tento problém řešen chlazením skrz olej, ale v případě suchých spojek může v nejhorším případě dojít k přehřátí spojek a tím ke ztrátě schopnosti přenosu točivého momentu. To je řešeno pomocí funkcí sloužících k ochraně převodovky, kdy v případě překročení teploty lamely spojky dojde k upozornění řidiče. Tato situace nehrozí při přiměřeně nastavené hodnotě požadovaného skluzu. Který z těchto stavů provozu spojek je ve výsledku vhodnější z hlediska komfortu jízdy, je tématem praktické části této diplomové práce.

3 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ FUNKCÍ PŘEVODOVKY

3.1 POPIS POSTUPU PŘI EXPERIMENTÁLNÍM OVĚŘENÍ ZVOLENÝCH FUNKCÍ PŘEVODOVKY

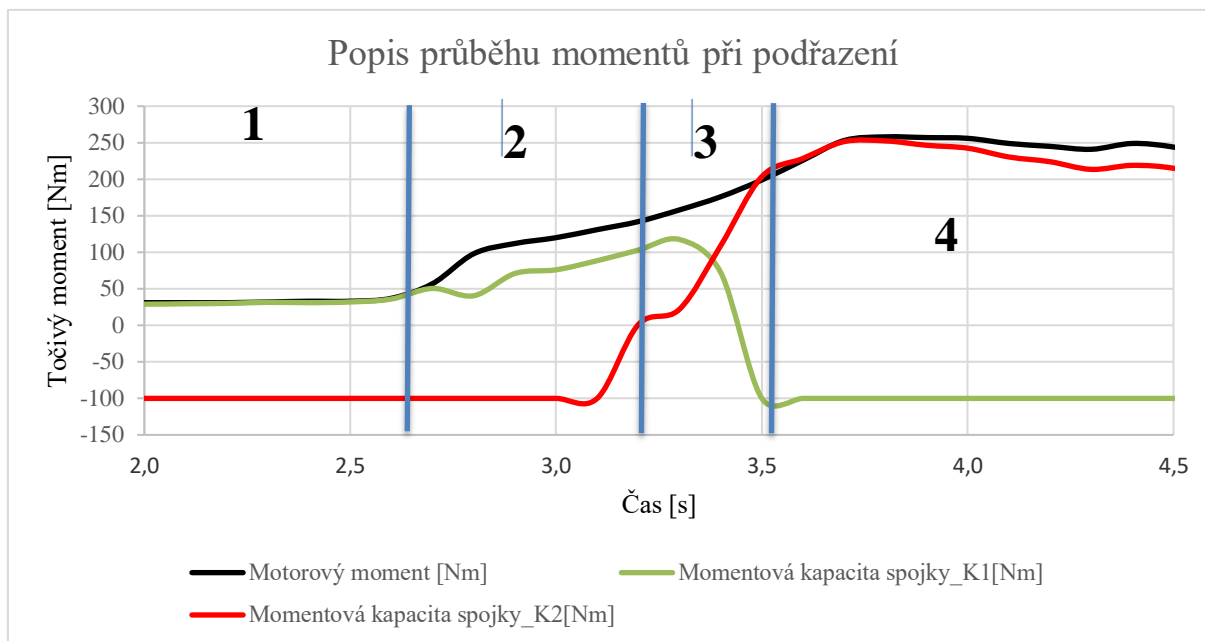
Pro porovnání změny způsobu regulace spojek je nejdříve potřeba stanovit jízdní manévry, které budou použity pro posouzení nejlepšího nastavení. Jak bylo zmíněno v kapitole 2.4, pomocí mikro-prokluzu je řízeno přepínání spojek při řazení a dále jsou tlumeny nerovnoměrnosti chodu motoru. Z toho důvodu je třeba zvolit takový manévr, který bude jednak dobře opakovatelný, aby bylo možné posoudit vliv změny regulace spojek na jízdní komfort, a zároveň bude obsahovat řazení. Podstatnou roli také hraje opakovatelnost sešlápnutí akceleračního pedálu vozu. Důležitou podmínkou pro opakovatelnost experimentu je stálost parametru pro změnu času řazení, který určuje, jak rychle má křížení spojek proběhnout.

Vzhledem k vhodným podmínkám byla pro zkoušku zvolena silnice v areálu Technického vývoje ŠKODA AUTO, u budovy Motorového centra. Vozovka má hladký povrch, takže v průběhu měření nehrozí aktivace funkce RRD, která by způsobila, že změna požadované velikosti MS by byla nerelevantní a došlo by k aktivaci přetlaku spojky. Dalším faktorem relevantnosti je opakovatelnost manévru. Z důvodu omezení maximální rychlosti a délky vozovky byla zkušebním manévrem jízda při 26 km/h na 3. rychlostní stupeň při cca 8% náslapu akceleračního pedálu s náhlou změnou na 100% stlačení akceleračního pedálu. V momentě sešlápnutí akceleračního pedálu došlo k podřazení na 2. rychlostní stupeň a auto začalo plně akcelarovat. Manévr končí v momentě, kdy se otáčky nabíhajícího hřídele synchronizovaly s otáčkami motoru. Cílem manévru bylo stanovení požadovaného prokluzu tak, aby řazení nebylo nepříjemné pro posádku, nedocházelo ke kmitání hřídelů převodovky a křížení spojek bylo co možná nejrychlejší. Hlavní parametry, podle kterých bylo posouzeno nejlepší řazení, byly následující:

- doba řazení – posouzení dle indikátoru stavu převodovky,
- nárůst teploty na spojkách – porovnání se sériovým stavem,
- průběh zrychlení před podřazením, také při zrychlování na počáteční rychlost experimentu – oscilace (ano/ne, velikost),
- gradient zrychlení.

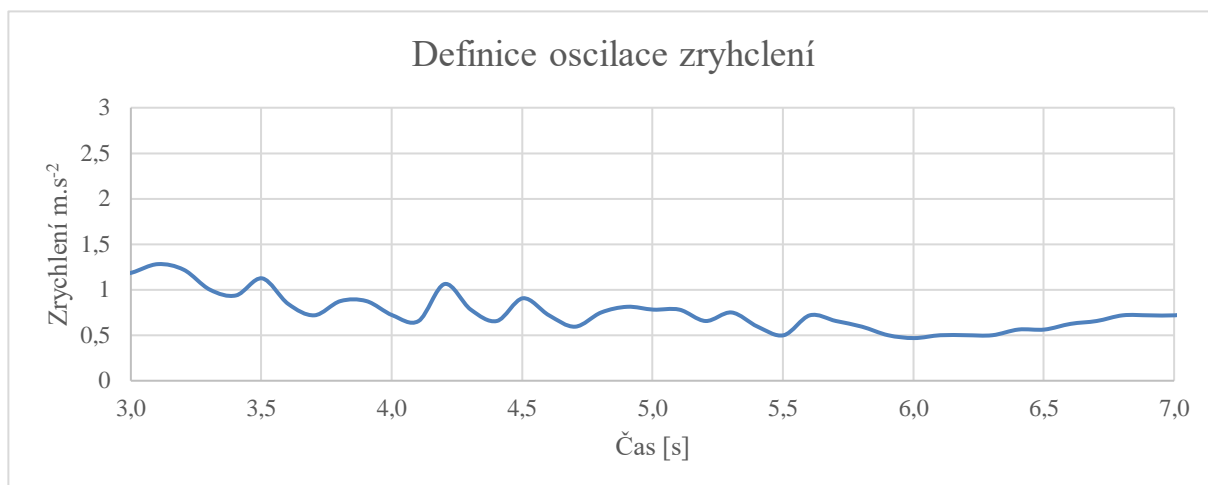
3.1.1 POPIS STAVU SPOJEK V PRŮBĚHU EXPERIMENTU A DEFINICE HODNOCENÍ

Průběh experimentu byl vždy stejný z pohledu průběhu řízení křížení spojek. Točivý moment přenášený spojkou v záběru vždy kopíruje průběh motorového momentu, nehledě na velikost požadovaného prokluzu nebo přetlaku do momentu křížení spojek (Obr. 13 - oblast 1). Následně po sešlápnutí akceleračního pedálu na 100 % dochází k nárůstu točivého momentu motoru a spojka v záběru se tento moment snaží kopírovat do momentu, než proběhne zařazení 2. rychlosti na druhém hřídeli a druhá spojka se dostane na „kisspoint“, což je bod, ve kterém se spojka dotýká setrvačníku, ale přenášený moment danou spojkou se limitně blíží nule (oblast 2). Následně dochází ke křížení spojek v záběru, spojka K1(spojka č. 1 s lichými rychlostními stupni) se odpojuje a současně se K2 (spojka č. 2 se sudými rychlostními stupni) napojuje z kisspointu, tzn. točivý moment přenášený spojkou K2 narůstá. Synchronizují se otáčky 2. hřídele převodovky a klikového hřídele motoru (oblast 3). Po synchronizaci otáček je v záběru spojka K2 a následně kopíruje průběh momentu motoru. V závislosti na zvoleném způsobu provozu spojek je moment přenášený spojkou menší nebo větší než moment motoru, avšak průběh momentových křivek by měl být stejný (oblast 4).



Obr. 13. Popis průběhu momentů při podřazení u převodovky DQ200

Pro vyhodnocení komfortu jízdy je třeba definovat, jaké změny v akceleraci jsou pro posádku vozu přípustné a které už nikoliv. Pokud je amplituda zrychlení vyšší jak $0,1 \text{ m.s}^{-2}$ a frekvence vyšší než 2 Hz, lze hovořit o oscilaci zrychlení.



Obr. 14. Definice oscilace zrychlení

Hodnocení gradientu zrychlení bude posuzováno od hodnoty motorového momentu 100 Nm po maximální hodnotu zrychlení. Počáteční hodnota pro vyhodnocení zrychlení byla stanovena na základě průběhu zrychlení před dosažením točivého momentu motoru o velikosti 100 Nm. Před dosažení této hodnoty totiž k žádné změně ve zrychlení nedochází a je to jasně daný bod, který lze použít pro hodnocení.

V grafech zobrazujících „jízdní stav převodovky“ je hodnota:

- -5 => podřazení,
- 0 => jízda,
- 5 => řazení.

3.1.2 NASTAVENÍ REGULACE SPOJKY V EXPERIMENTU

Pro objektivní posouzení vlivu velikosti prokluzu na rychlost a komfort řazení bude výše popsán manévr zkoušen vícekrát, pokaždé s jinou hodnotou velikosti požadovaného prokluzu, včetně aktivované funkce přetlaku spojky, která bude spojku provozovat s vyšším přtlakem, než je provozována v režimu s prokluzem, což způsobí, že moment přenášený spojkou je vyšší, než je dodávaný moment od motoru (přetlak spojky), a nemělo by docházet k prokluzu spojky.

Zvolené velikosti požadovaného prokluzu jsou následující:

- 100 min^{-1} ,
- 60 min^{-1} ,
- 30 min^{-1} ,
- 5 min^{-1} - základní hodnota,
- přetlak 125 %,
- přetlak 150 %,
- přetlak 200 %.

Zvolené hodnoty jsou pro lepší pochopení problematiky nastaveny na krajní, až extrémní meze, u nichž je již z podstaty jasné, že v tomto stavu spojky provozovány být nemohou, jako například provoz při prokluzu 100 otáček za minutu. Tato krajní hodnota byla nastavena jako simulace dlouhodobého provozu při vyšší hodnotě požadovaného prokluzu z hlediska tepelného zatížení spojek.

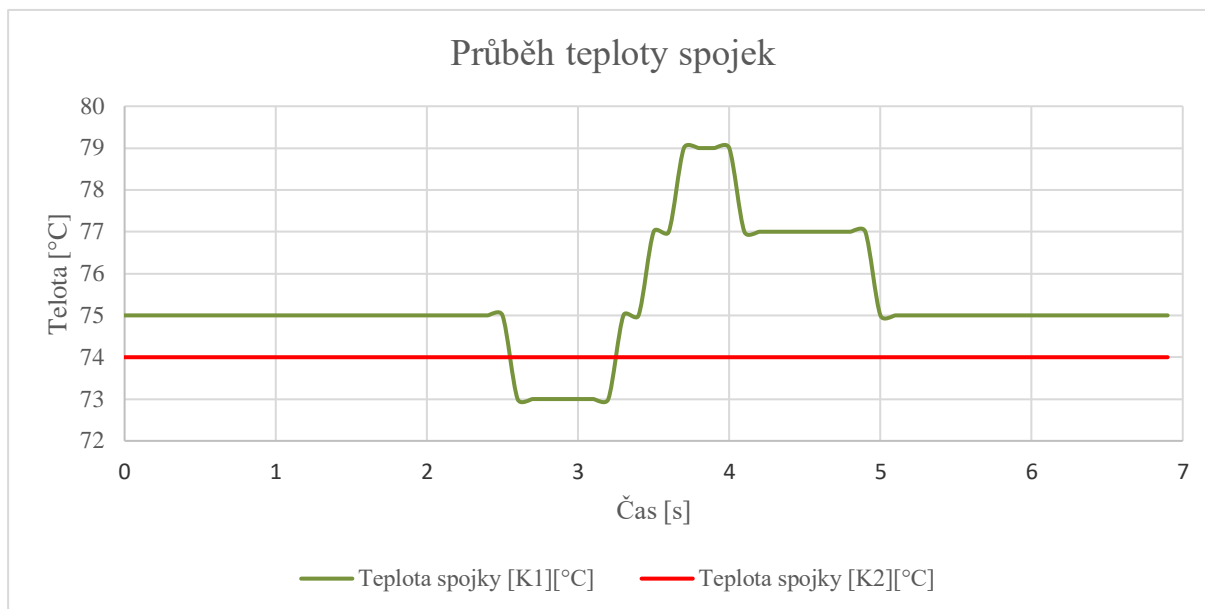
3.2 POŽADOVANÝ PROKLUZ 5 MIN^{-1}

Požadovaný prokluz je v současné době na základní hodnotě nastaven na 5 otáček za minutu. S tímto nastavením jsou v provozu všechny převodovky DQ200 v sériových vozech VW.



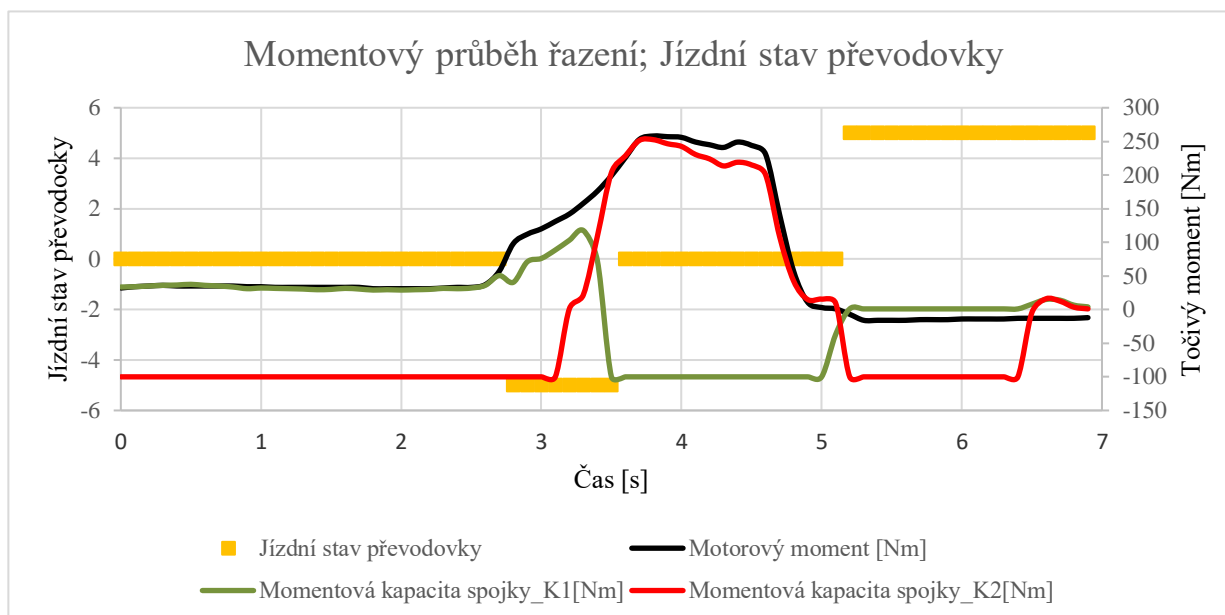
Obr. 15. Velikost skutečného prokluzu při nastavení požadované hodnoty 5 min^{-1} .

V obrázku 15 lze pozorovat velikost požadovaného prokluzu oscilující okolo požadované hodnoty. Při přeražení je vidět, že velikost prokluzu klesá na hodnoty přes 500 otáček za minutu, z důvodu aktivace gradientního regulátoru. Při mírném zatížení je velikost prokluzu udržována regulací okolo hodnoty 5 min^{-1} v rámci změny jízdních odporů, které působí jako rušivý faktor pro výpočet požadovaného přítlaku spojky.



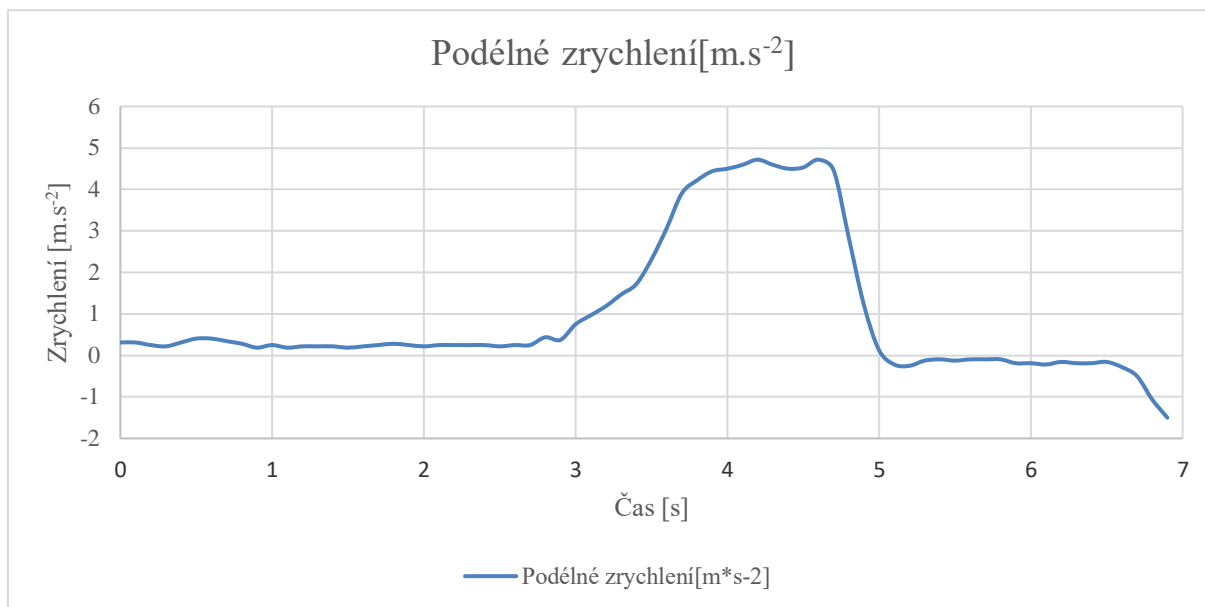
Obr. 16. Průběh teplot spojek při podřazení 3-2 při defaultním nastavení prokluzu.

V obrázku 16 je vidět, že teplota spojek, resp. odcházející spojky při řazení vzroste o 6°C .



Obr. 17. Čas podřazení 3-2 při defaultním nastavení prokluzu.

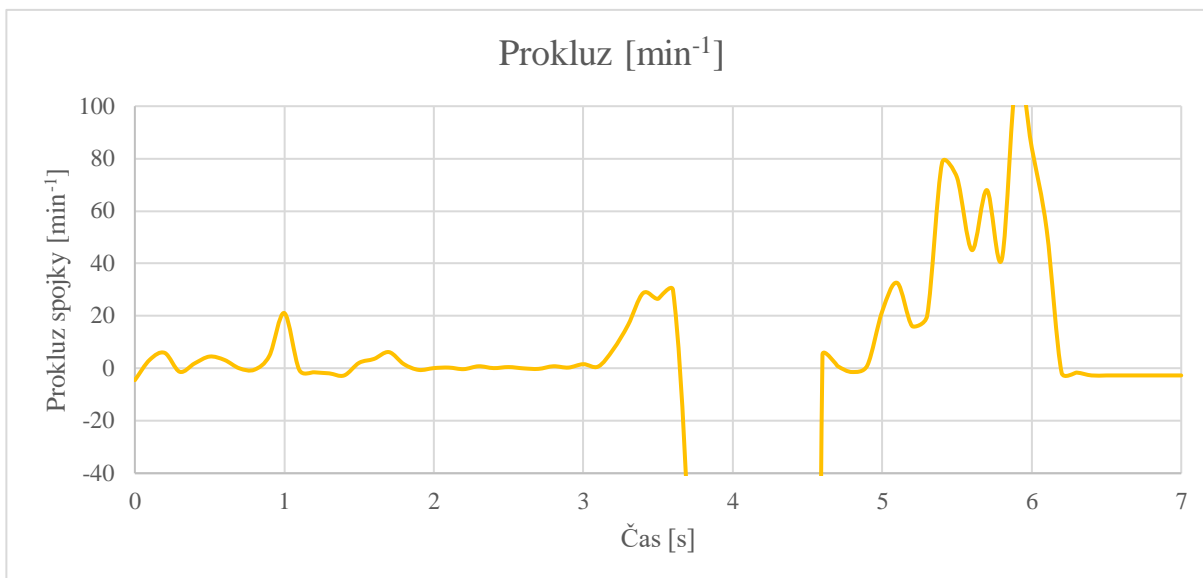
V základním nastavení převodovky proběhlo podřazení za 0,775 s. Délka podřazení se s každým pokusem mění, avšak průměrná doba nepřesahuje 0,8 s. V obrázku 18 lze pozorovat, že při zrychlování na počáteční rychlost pokusu, ani v průběhu samotného experimentu, nedochází ke krátkým a rychlým změnám zrychlení, které by značně narušovaly komfort jízdy. Gradient zrychlení je $3,080 \text{ m.s}^{-3}$.



Obr. 18. Průběh zrychlení před a při podřazení 3-2 při defaultním nastavení požadovaného prokluzu.

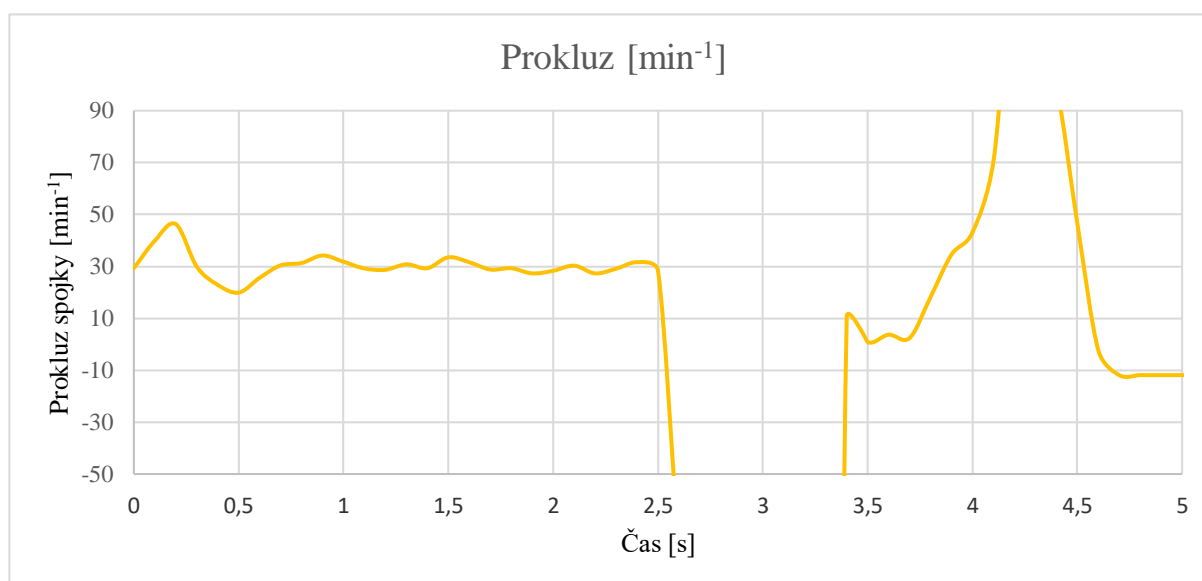
3.3 POŽADOVANÝ PROKLUZ 30 MIN^{-1}

Pokus byl realizován i při nastavení požadovaného prokluzu 30 otáček za minutu. Jak je možné vidět na obrázku 19., při požadavku na danou velikost prokluzu byla špatně nastavená regulace a prokluz byl při malém sešlápnutí akcelérátoru malý, téměř nulový. Spojka byla provozována s příliš vysokým přitlakem. Od motoru dodávaný točivý moment byl na hodnotě 12 Nm, spojka v záběru měla v daný okamžik nastavený přenos o velikosti 15 Nm. Z toho důvodu, stejně jako při požadavku na vyšší prokluz spojky v dalších kapitolách, musely být změněny hodnoty pro regulaci tak, aby bylo možné dosáhnout požadovaného prokluzu i při nižších hodnotách sešlápnutého akcelérátoru.

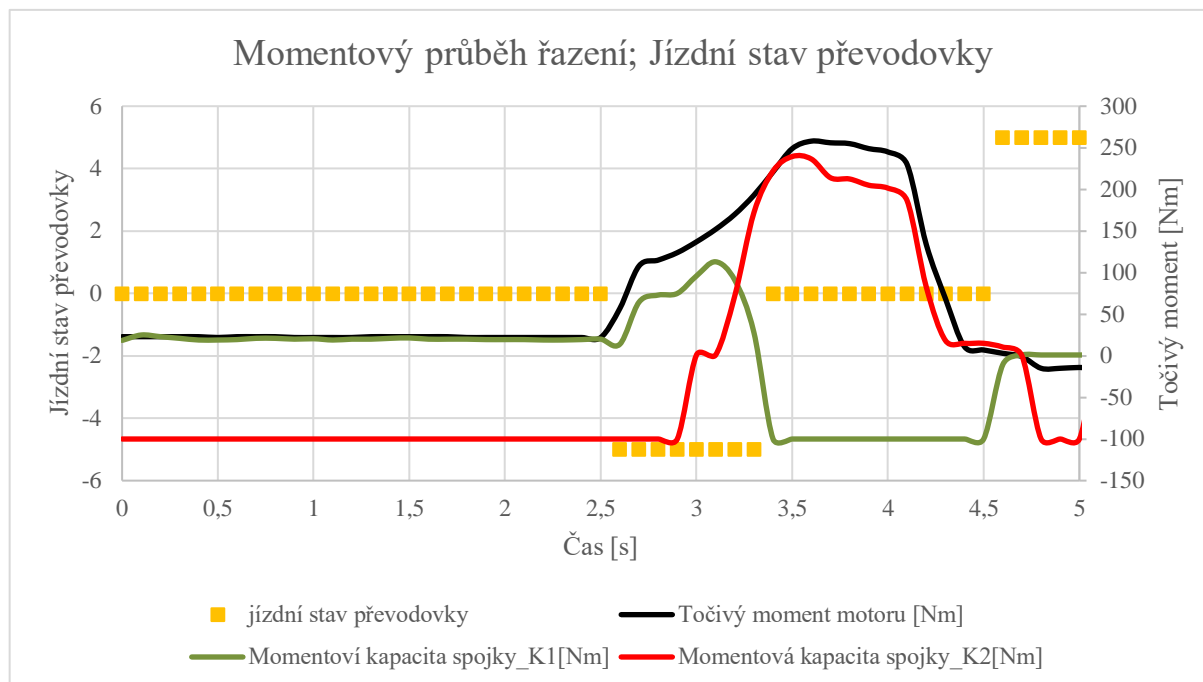


Obr. 19. Nedosažení požadovaného prokluzu před úpravou regulátoru prokluzu

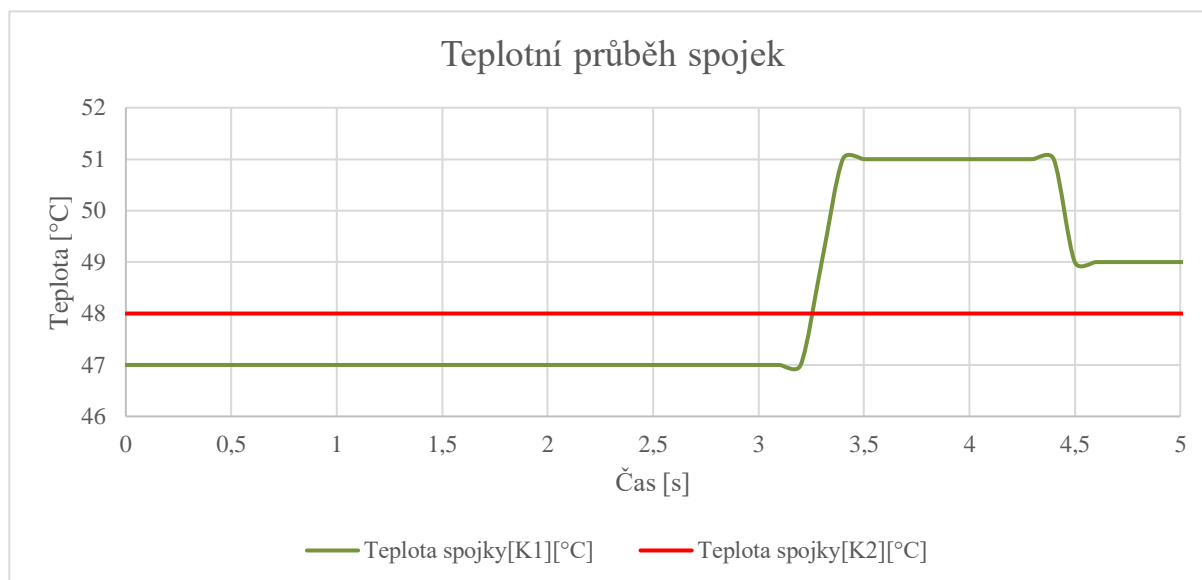
Po úpravě regulace již bylo dosaženo požadovaného prokluzu a měření mohlo být použito pro vyhodnocení kvality řazení. S prokluzem o velikosti 30 otáček za minutu by dle teorie (kapitola 2.4) mělo být řazení s vyšším prokluzem rychlejší.



Obr. 20. Splnění požadavku na velikost prokluzu

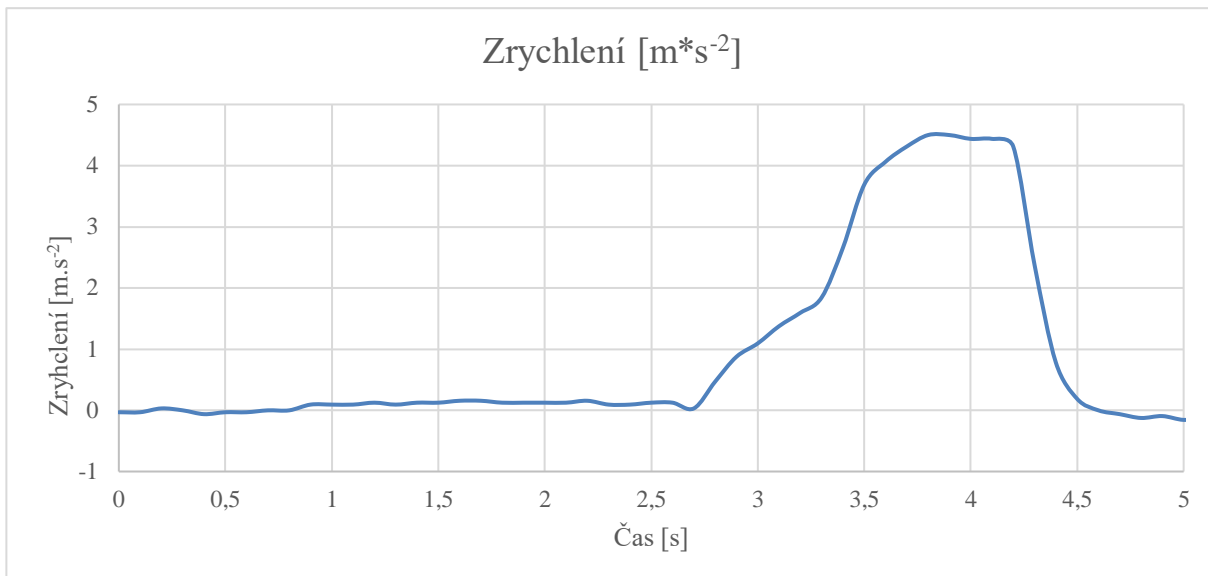
Obr. 21. Doba řazení při požadované velikosti prokluzu 30 min^{-1}

Doba řazení s požadovaným prokluzem 30 min^{-1} je $0,78 \text{ s}$, což je shodný čas s řazením při menším požadovaném prokluzu.

Obr. 22. Průběh teplot spojek při podřazení 3-2 při požadovaném prokluzu 30 min^{-1}

V případě prokluzu o velikosti 30 min^{-1} byl nárůst teploty na odchozí spojce dokonce menší než při defaultním nastavení prokluzu. To je pravděpodobně způsobeno nižší teplotou spojky před řazením v případě základního prokluzu. Při prokluzu 30 min^{-1} je vyšší teplota před řazením způsobena právě vyšší hodnotou prokluzu, a tudíž nárůst teploty není tak vysoký, protože již před řazením byla teplota spojky navýšena.

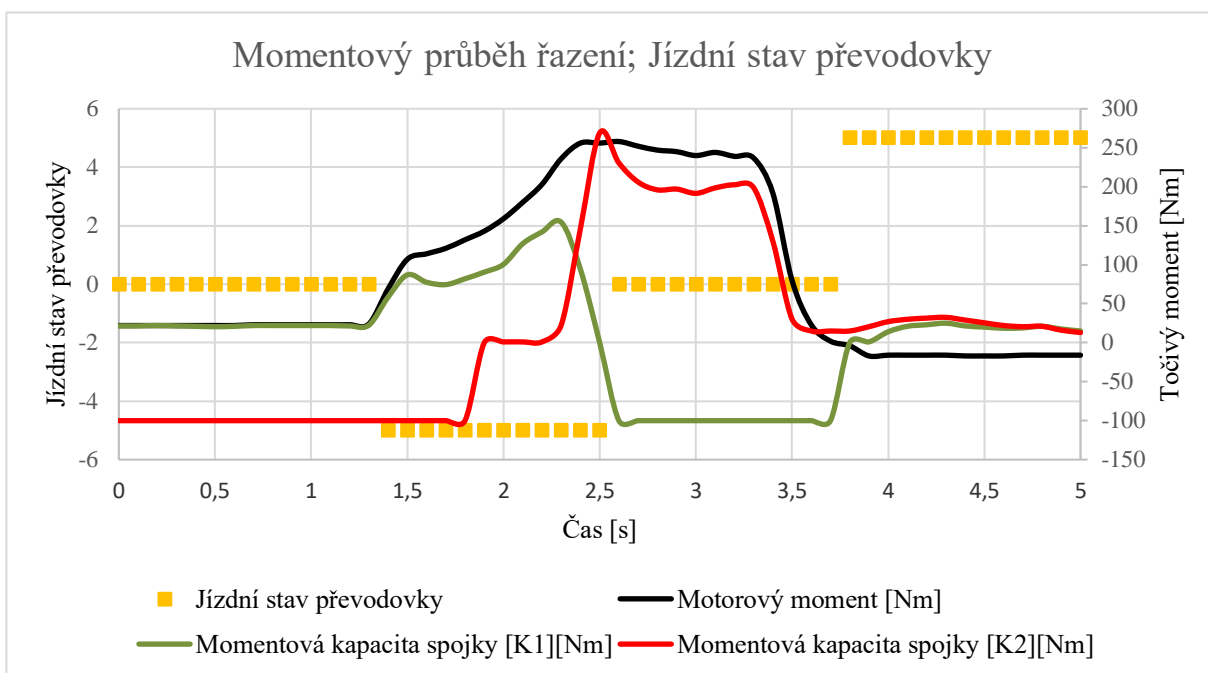
Při pohledu na průběh zrychlení není zjevná výrazná změna oproti průběhu zrychlení se základním nastavením prokluzu. Při rozjezdu a zrychlení nebyla citelná žádná náhlá změna rychlosti vozidla, která by byla nepříjemná pro posádku. Podřazení proběhlo plynule. Gradient zrychlení s vyšším prokluzem byl nejvyšší ze všech způsobů regulace spojky.



Obr. 23. Průběh zrychlení při požadovaném prokluzu 30 min^{-1}

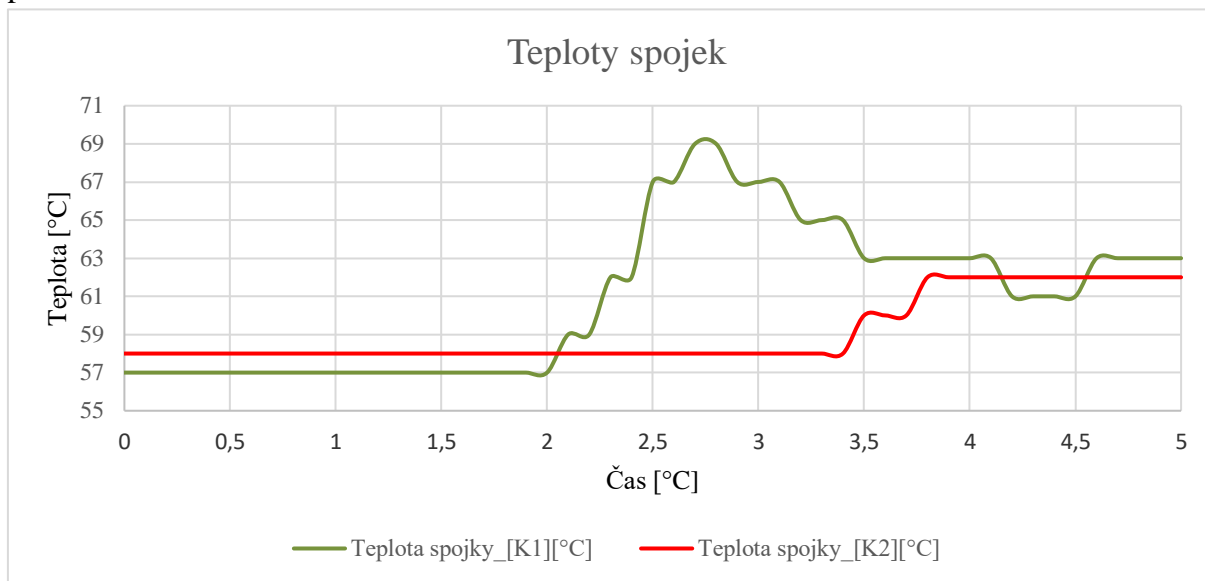
3.4 POŽADOVANÝ PROKLUZ 60 min^{-1}

Další experiment proběhl s nastavením požadovaného prokluzu na hodnotu 60 min^{-1} . Již po rozjezdu bylo citelné rozdílné chování vozu od provozu s nižším prokluzem.



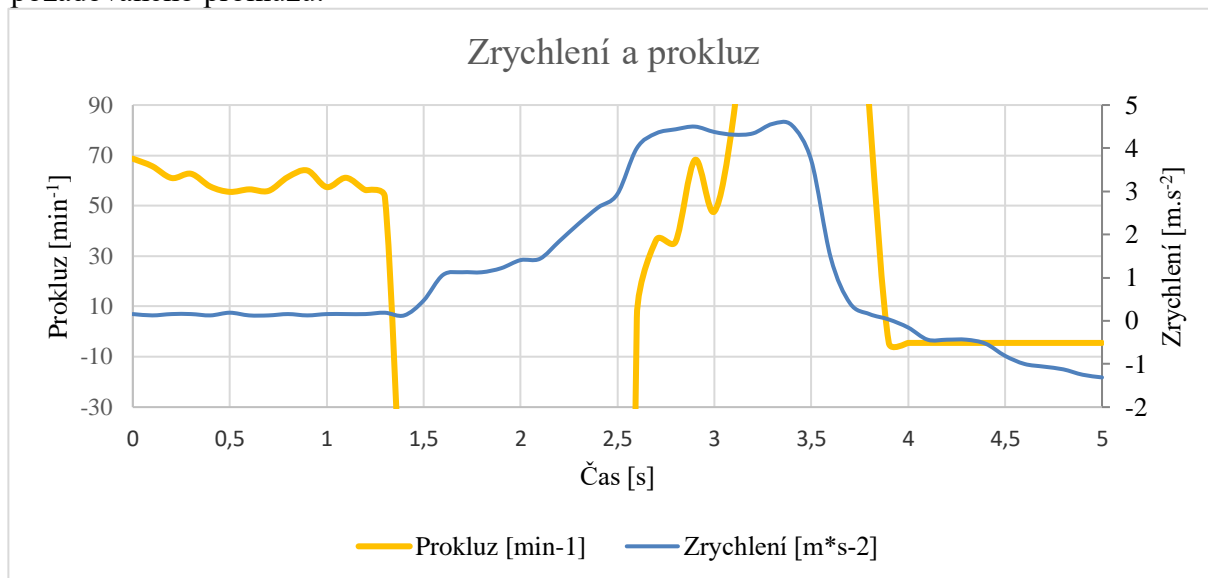
Obr. 24. Doba řazení při požadovaném prokluzu 60 min^{-1}

Jak je možné pozorovat na obrázku 24, doba řazení již byla znatelně delší než při provozu s nižším prokluzem, s nastaveným prokluzem na 60 otáček za minutu poďřazení trvalo 1,13 s, což je přibližně o 0,4 s delší než v případě s defaultním nastavením prokluzu. Pro řidiče je toto navýšení nepostřehnutelné, ale na celkovou dynamiku vozu to má zásadní vliv. Při předpokladu, že řazení probíhá při akceleraci několikrát, celkové zrychlení může být horší v řádu jednotek sekund. Teplotní nárůst na odcházející spojce je taktéž vyšší než u provozu s nižším prokluzem, jak se dalo předpokládat. Na obrázku 25 je možné pozorovat zvýšení teploty spojky 1 o 12 °C, což je dvojnásobek nárůstu při experimentu se základním prokluzem 5 min⁻¹.



Obr. 25. Teplotní nárůst na spojce 1 při nastaveném prokluzu 60 min⁻¹.

Při pohledu na průběh zrychlení (Obr. 26) je viditelný menší gradient zrychlení a samotný průběh není lineární, jako při experimentech s nižším požadavkem na prokluz. Důvodem pro nelineární průběh zrychlení je náročný výpočet polohy připojované spojky pro dosažení požadovaného prokluzu.

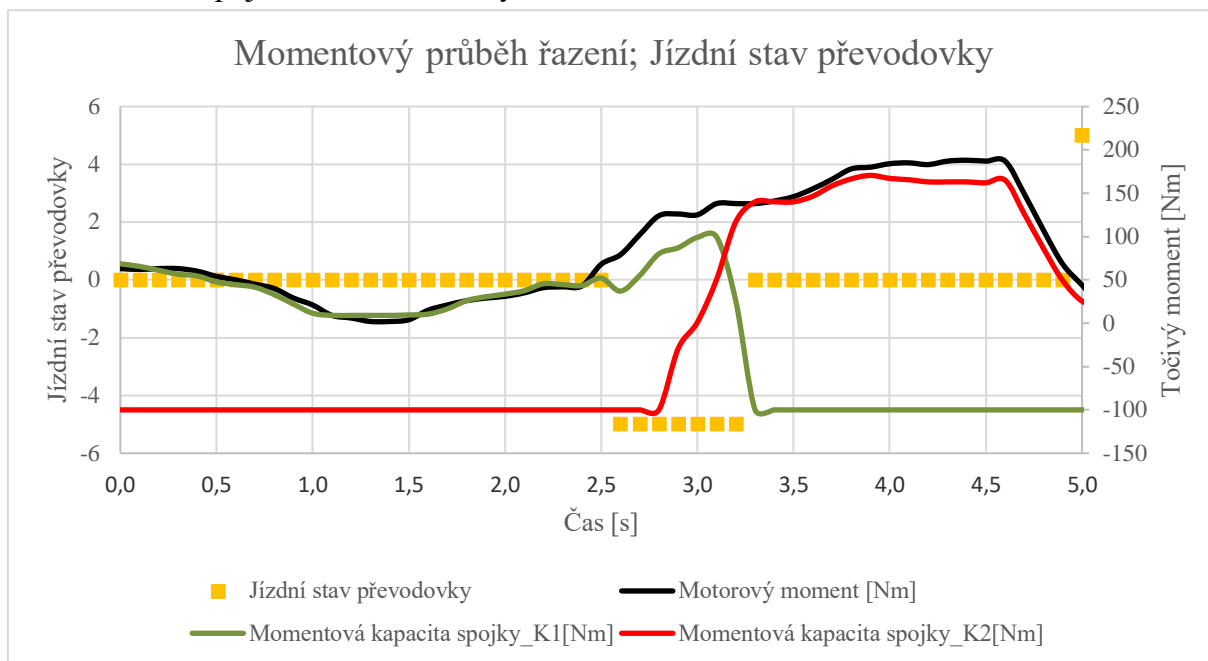


Obr. 26. Zrychlení při požadovaném prokluzu 60 min⁻¹

3.5 POŽADOVANÝ PROKLUZ 100 min^{-1}

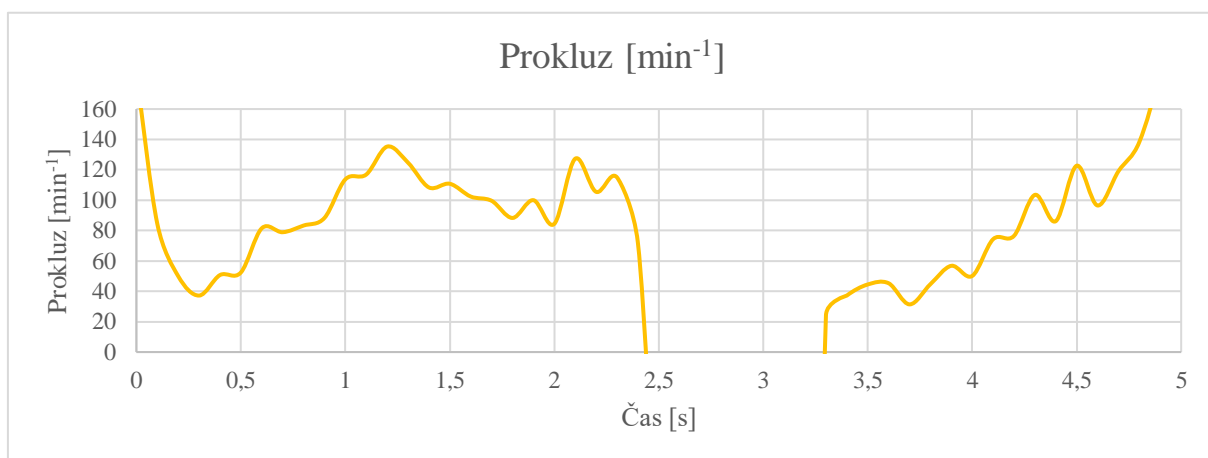
Měření proběhlo s neupravenou regulací pro požadovaný prokluz. Při zpětném náhledu do měření bylo zjištěno, že bez úpravy regulátoru prokluzu není dosažení takto vysokého požadavku na prokluz možné a je třeba upravit hodnoty regulátoru.

V rámci měření s takto vysokým prokluzem bylo třeba dbát na změnu teploty spojek. Dále byla posuzována délka časového úseku, po kterou probíhalo řazení jak z hlediska indikace hlavního stavu spojky, tak z hlediska synchronizace otáček hřídele se setrvačnickem.

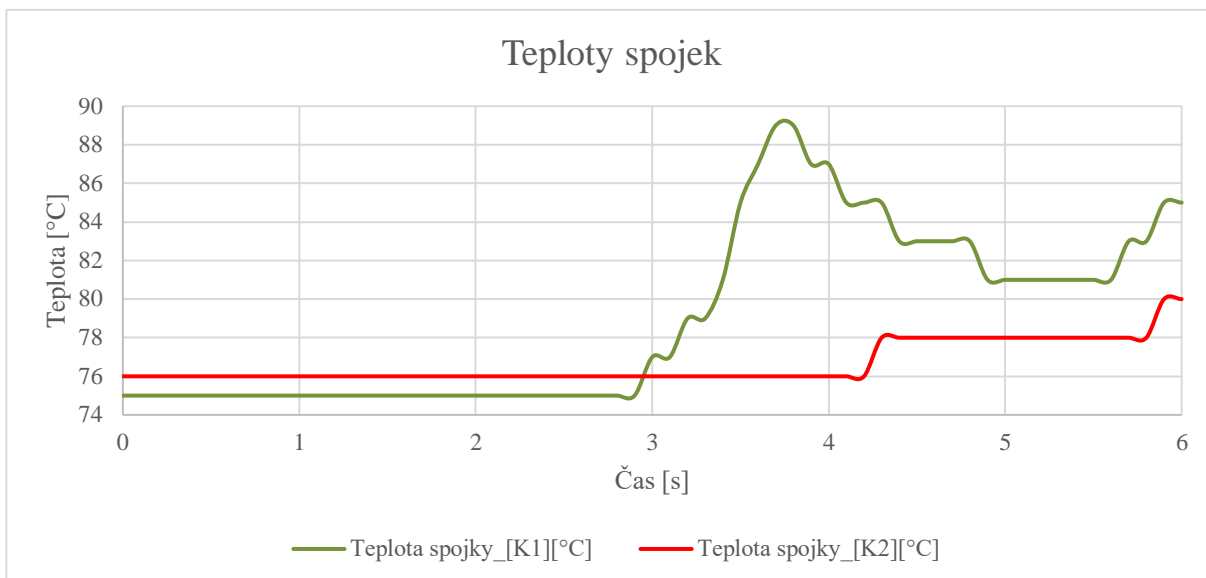


Obr. 27. Řazení 3-2 při požadovaném prokluzu 100 min^{-1} a požadavku na 100% zrychlení.

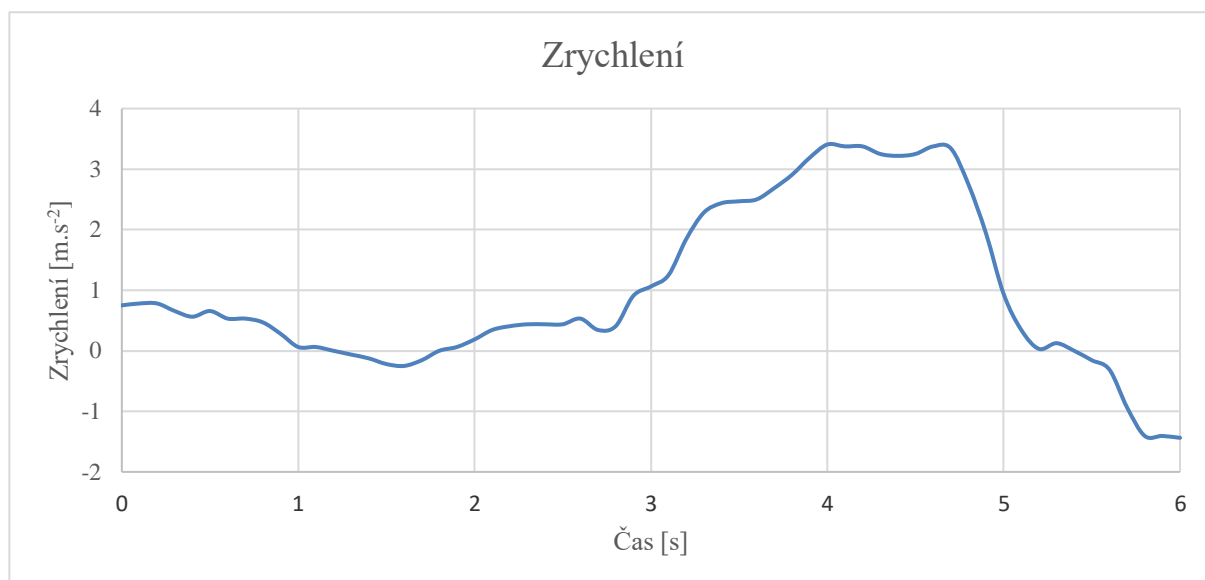
Na obrázku č. 27 je možné vidět záznam jízdy s prokluzem o velikosti 100 min^{-1} . Velikost prokluzu je zobrazena v obrázku 28. Jak je vidět, požadovaná hodnota prokluzu je v tomto případě dodržena díky menšímu zásahu regulátoru prokluzu, který musel být upraven pro uskutečnění pokusu společně s požadavkem na velikost prokluzu.



Obr. 28. Prokluz spojky při požadavku na 100 min^{-1}

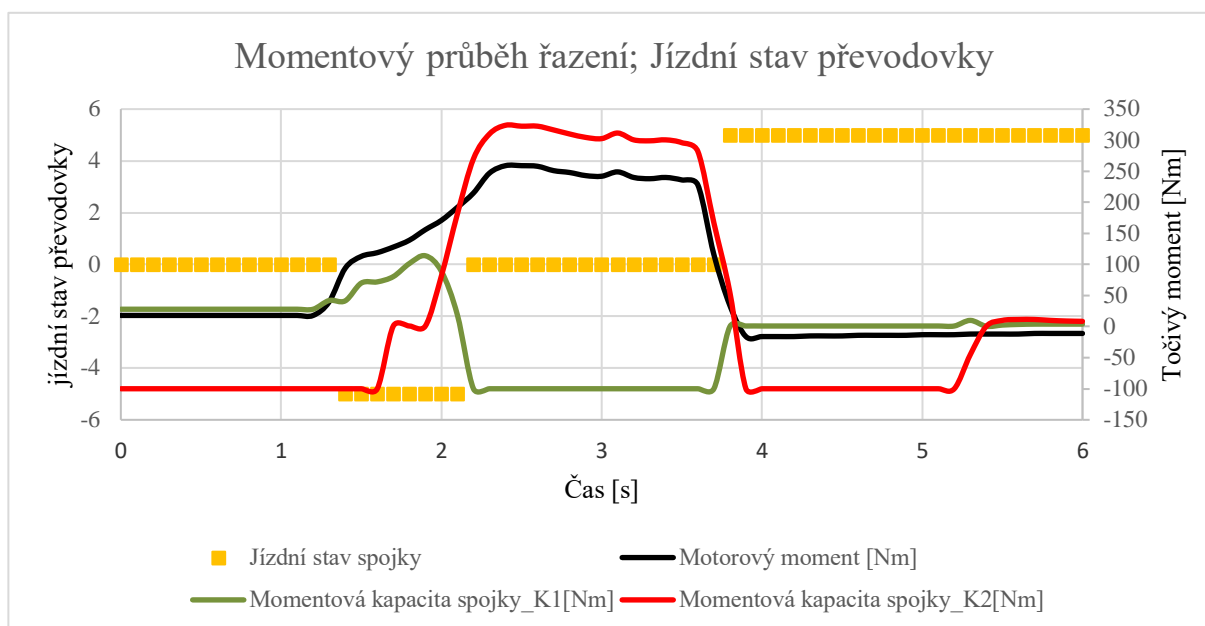
Obr. 29. Teploty spojek při podřazení 3-2 s prokluzem spojek 100 min^{-1}

Jak je možné vidět na obrázku 29, teplota spojky č. 1, přes kterou byl přenášeny moment při jízdě na 3. rychlostní stupeň, vzrostla o 13°C , což je oproti ostatním případům s jinou velikostí požadovaného prokluzu mnohem vyšší nárůst, jak je možné pozorovat při analýze dalších řazení. Doba řazení, dle indikace stavu spojky, je cca $1,02 \text{ s}$, dle obrázku 27. Při porovnání s řazením při nastavení požadavku na prokluz 60 min^{-1} se doba podřazení snížila, což odpovídá teoretickému předpokladu na snížení momentové kapacity spojky, ale při porovnání se základním nastavením je tato doba podřazení stále delší o $0,3 \text{ s}$.

Obr. 30. Průběh zrychlení při požadovaném prokluzu 100 min^{-1}

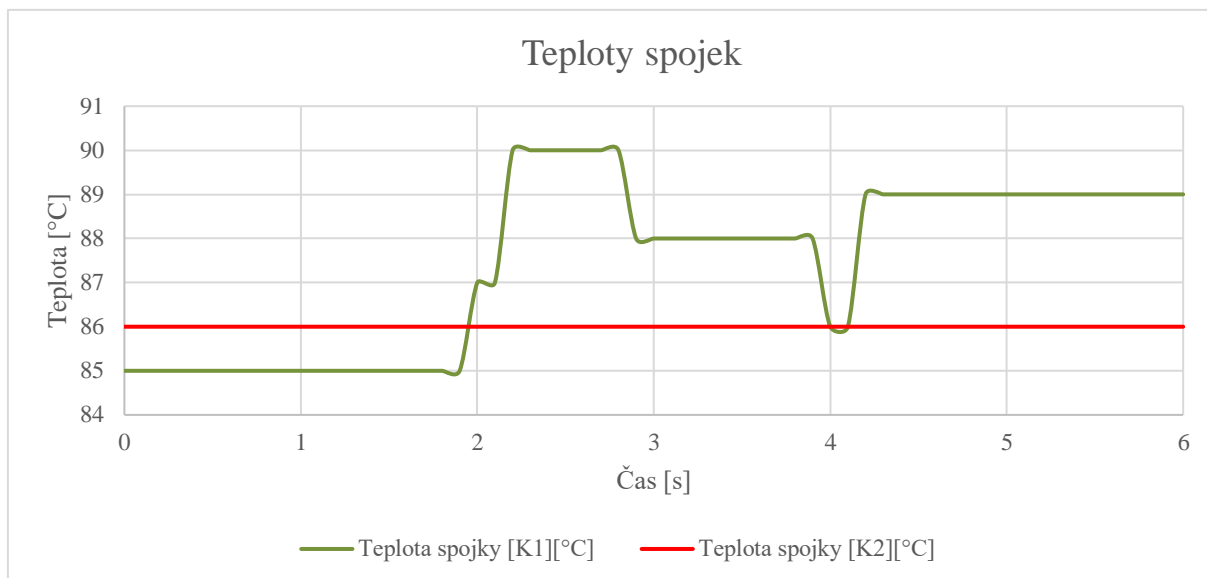
3.6 PŘETLAK 125 % MOTOROVÉHO MOMENTU

Dalším z experimentů bylo řazení s nadměrnou momentovou kapacitou spojky, a to 125 % momentové kapacity dodávané motorem. Při tomto nastavení by nemělo docházet k prokluzu spojky, protože přenášený točivý moment spojkou v záběru by měl být vždy vyšší, než dodává motor. Tento stav by se měl blížit provozu manuálně ovládaných spojek. Není však zcela identický, protože v případě motorového momentu o velikosti 10 Nm je spojka napojena tak, že přenáší 12,5 Nm, nikoliv maximum, které je fyzikálně pro danou spojkou možné, jako u spojek v manuálně ovládaných převodovkách.



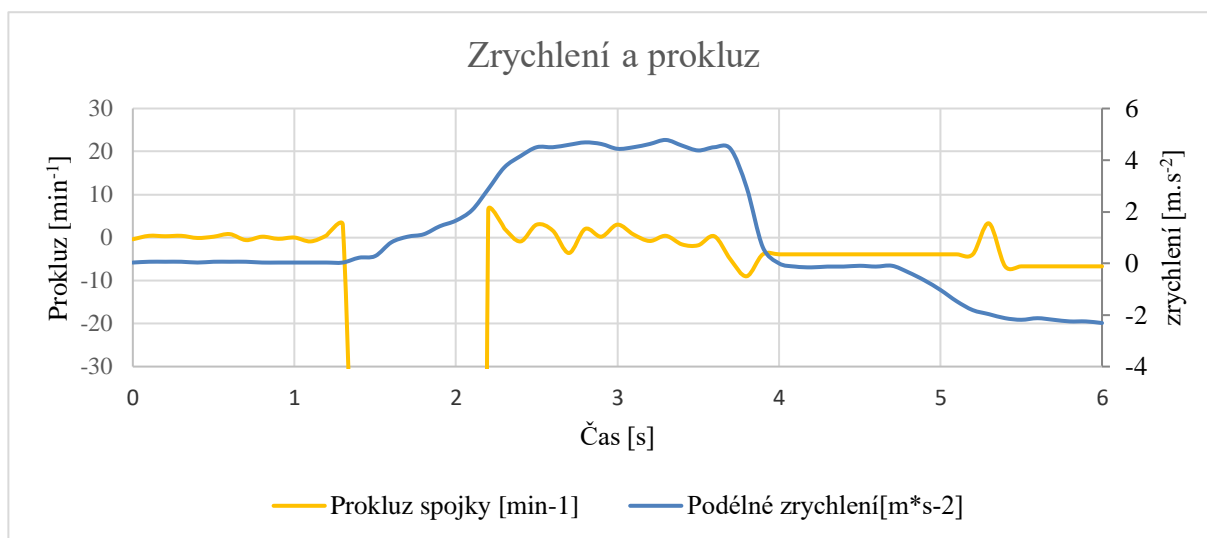
Obr. 31. Doba řazení při zvýšené momentové kapacitě spojky na 125 % motor. Momentu

Na obrázku 31 můžeme pozorovat, jak se přenášená velikost momentu mění s velikostí dodávaného momentu motoru. Při vyšším momentu od motoru je rozdíl mezi momentovou kapacitou spojky a momentem motoru vyšší než při nízkých hodnotách motorového momentu. V případě manuálně ovládané spojky by hodnota momentu přenášeného spojkou byla stále na maximální hodnotě, nehledě na velikost motorového momentu, kromě doby řazení. Doba řazení je podobná jako u prokluzu 5 min^{-1} , avšak z důvodu potřebného snížení nadměrného přitlaku spojky je řazení o 0,1 s delší. Při pohledu na průběh teploty (Obr. 32) na odcházející spojkce lze pozorovat menší teplotní nárůst, než tomu bylo v případě s vysokým prokluzem.



Obr. 32. Teplotní průběh spojek při vyšší momentové kapacitě

S takto nastavenou momentovou kapacitou je nárůst teploty jen o 5 °C. To je o více jak polovinu méně než při vysokém prokluzu. Na obrázku 33 je však dobře viditelný nárůst prokluzu na spojce 2. K prokluzu spojky dochází z důvodu nedostatečně velkého přitlaku z důvodu postupného nárůstu tlaku v ovládacím ventilu spojky.

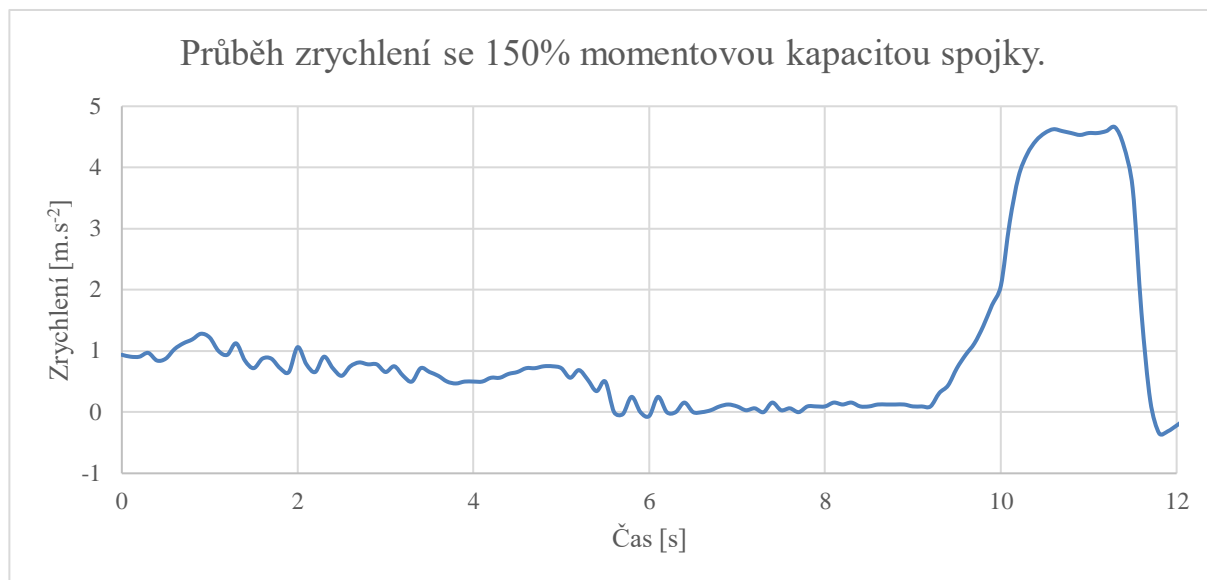


Obr. 33. Velikost prokluzu a průběh zrychlení při požadované 125% momentové kapacitě spojky

Před začátkem akceleraace je znatelné, jak prokluz osciluje s malou amplitudou okolo nuly, po překřížení spojek však amplituda prokluzu výrazně roste až k 7 min^{-1} . Gradient zrychlení je v tomto případě stejný, jako se základním prokluzem popsaným v kapitole 3.2. Chování vozu s vyšší momentovou kapacitou spojky byla oproti vysokému prokluzu značně „nervózní“.

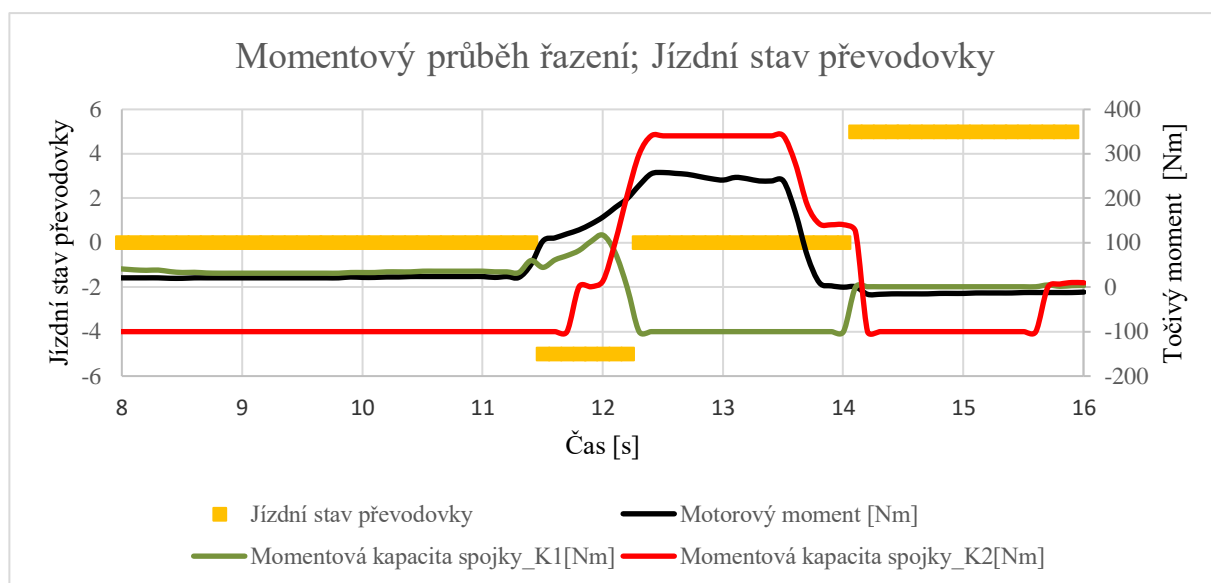
3.7 PŘETLAK 150 % MOTOROVÉHO MOMENTU

Postup při pokusu s momentovou kapacitou nastavenou na 150 % točivého momentu motoru byl stejný, jako v kapitole 3.6. Na rozdíl od předchozího pokusu se do jízdy přenášely nepravidelnosti točivého momentu motoru a při řazení bylo cítit cukání vozidla. Cukání vozu je dobře viditelné na obrázku 34, kde je zobrazen průběh zrychlení vozu.



Obr. 34. Průběh zrychlení vozu před a v průběhu podřazením.

Doba řazení by se dle teorie měla oproti předchozímu pokusu prodloužit. Ovšem jak je vidět na obr. 30, čas řazení je přibližně stejný, jako při předchozím pokusu, což sice popírá teorii popsanou v kapitole 2.4, ale v tomto případě bylo řazení tvrdé s velkým přenosem akceleračních výkyvů do celého vozu. Pokud by mělo být řazení plynulé, s lineárním gradientem zrychlení, musel by být čas křížení spojek delší.



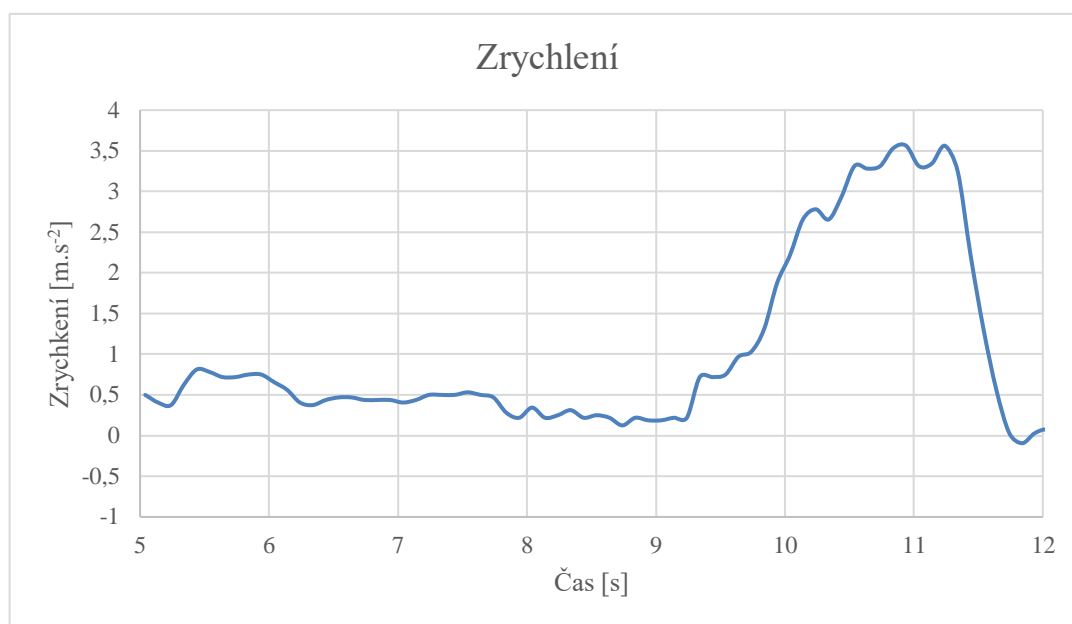
Obr. 35. Čas řazení při přetlaku spojky 150 % motorového momentu.

Nárůst teploty na odchozí spojce je o pouhých 5 °C, což je stejné jako v případě pokusu se 125 % přetlaku spojky a stejný nárůst teploty je očekávaný v případě podřazení

s přetlakem 200 %. Gradient zrychlení je vyšší než při základním nastavení prokluzu, a to díky požadavku na vyšší momentovou kapacitu spojky při stejném nastavení času řazení. To jde ovšem na vrub komfortu řazení a jízdy, jak je znázorněno v obrázku 35.

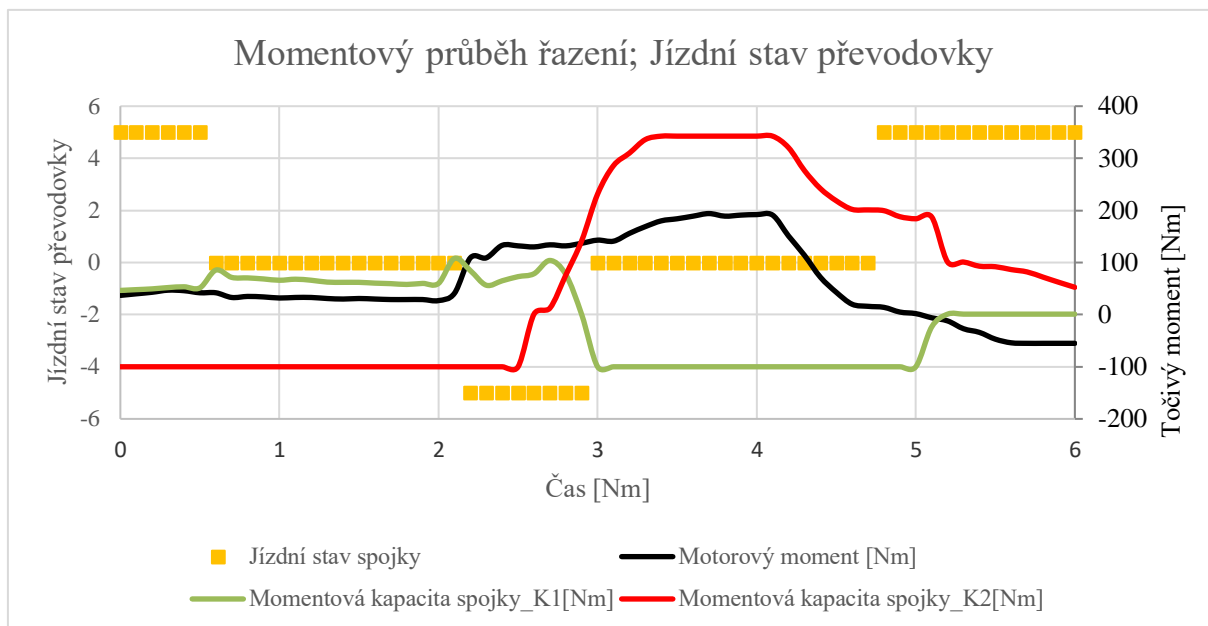
3.8 PŘETLAK 200 % MOTOROVÉHO MOMENTU

Poslední z experimentů byl s požadavkem na dvojnásobek točivého momentu přenášeného spojkou, než je velikost dodávaného točivého momentu motorem. V průběhu zrychlování na počáteční rychlost experimentu bylo již cítit škubání vozu a nepravidelné zrychlování v důsledku velké momentové kapacity spojky. Průběh zrychlení je zobrazen v obrázku 21, na kterém je dobře pozorovatelný sinusový průběh, který odpovídá cukání vozu.



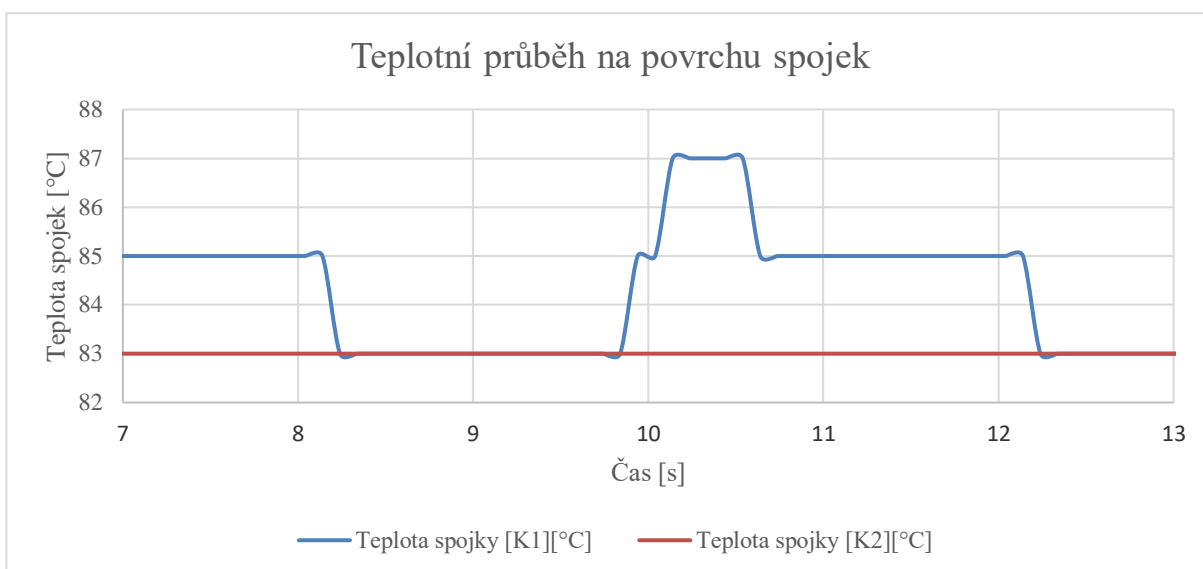
Obr. 36. Zrychlení vozu při nastavení 200% momentové kapacity spojky

Zejména mezi 8. a 9. sekundou měření je viditelná oscilace vozu na grafu zrychlení. To je způsobeno nepravidelným chodem motoru, který se z důvodu vysoké momentové kapacity spojky přenáší do celkového jízdního projevu vozu. Gradient zrychlení je také téměř stejný jako v případě 150% momentové kapacity, nástup zrychlení je přibližně za 1,3 s, ovšem těžko se tato doba určuje z důvodu kmitání. Doba řazení se stejně jako v předchozí kapitole neprodloužila navzdory tvrzení teorie. Tato skutečnost je opět zapříčiněna vysokým gradientem momentové kapacity spojky. To s sebou přináší daň v podobě nelinearity v gradientu zrychlení a projevuje se do jízdy cukáním vozu. Křížení spojek a ukazatel stavu převodovky je vidět na obrázku 36.



Obr. 37. Průběh točivých momentů a stavu převodovky při 200% momentové kapacitě

Dle analýzy měření v programu Vector CANape trvalo řazení 0,8 s. Nárůst teploty byl pouze o 1 °C nižší než u předchozího experimentu se 150% momentovou kapacitou spojky, což se dalo vzhledem k velmi krátké době, při které docházelo k prokluzu, očekávat. Teplotní průběh na povrchu spojky lze vidět na grafu 38.



Obr. 38. Průběh teploty spojky při 200% momentové kapacitě spojky.

3.9 SHRUTÍ

Pro posouzení nejlepšího možného nastavení prokluzu je možné zaujmout dva postoje. Prvním z nich je podle naměřených dat, druhý způsob je hodnocení podle pocitů řidiče. Druhý způsob je posouzení je však hodně subjektivní, a proto bude brán jen jako dodatkový k prvnímu způsobu.

Nastavení spojek	Čas řazení [s]	Nárůst teploty [°C]	Gradient zrychlení [m.s ⁻³]	Oscilace zrychlení [ano/ne]
Přetlak 200 %	0,801	4	2,581	Ano
Přetlak 150 %	0,817	5	3,333	ano
Přetlak 125 %	0,827	5	3,314	ne
Prokluz 5 min ⁻¹	0,774	5	3,080	ne
Prokluz 30 min ⁻¹	0,783	4	3,906	ne
Prokluz 60 min ⁻¹	1,132	12	3,269	ne
Prokluz 100 min ⁻¹	1,021	13	2,825	ne

Tabulka 1. Shrnutí kritérií pro posouzení řazení s různou regulací přtlaku spojek

Z tabulky 1 jasně vyplývá, že nejlepší regulace přtlaku spojky pro danou jízdní situaci leží mezi prokluzem 30 min⁻¹ a přetlakem 125 % motorového momentu, a to z důvodu dlouhé doby řazení, velkého nárůstu teploty na spojce a vyššího opotřebení spojkového obložení v případě vyšší hodnoty požadovaného prokluzu. V rámci vysoké momentové kapacity spojek nedochází k jevům jako v případě vysokého prokluzu, ale jízdní projev vozu je značně nekomfortní a s výraznými projevy nelinearity točivého momentu do celého vozu.

Subjektivní hodnocení řidiče jízdních situací se spíše přiklání pro vyšší prokluz při klidné jízdě, řazení bylo sice pomalejší, nikoliv však natolik, aby to řidiče obtěžovalo. Jízda samotná byla komfortnější až na pocit jízdy s měničem točivého momentu bez přemostovací spojky. Pro sportovní jízdu by však bylo, dle subjektivního pocitu řidiče, vhodné nastavit vyšší momentovou kapacitu. To vyplývá i z tabulky 1, protože by nedocházelo k tak velkým třecím ztrátám a spojky by se při vyšší zátěži nepřehřívaly.

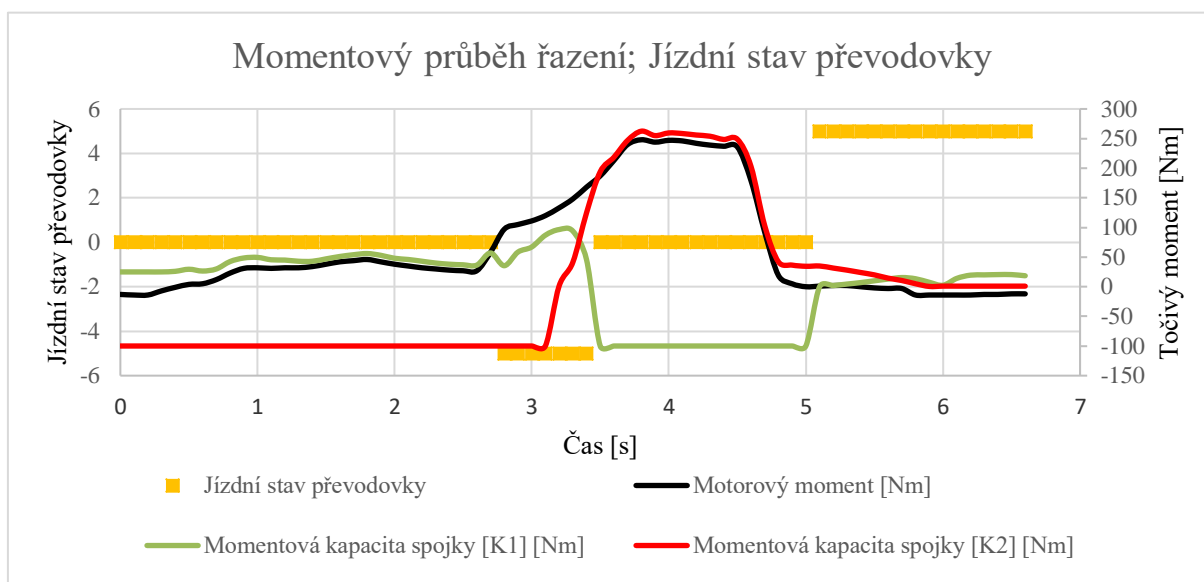
4 NÁVRH OPTIMÁLNÍHO PŘÍTLAKU

Na základě poznatků z kapitoly 3 bude vhodné zvolit optimální přítlak spojky v rozmezí mírného prokluzu (do 10 min^{-1}) a nízkým přetlakem (od 105 % motorového momentu). V této oblasti regulace provozu spojek probíhá řazení za dostatečně krátký časový úsek, nárůst teploty na spojkách je minimální a gradient zrychlení se pohybuje na maximu a nedochází k oscilacím zrychlení.

Z předchozí kapitoly vyplývá, že pro jízdu ve městě při častém rozjíždění (což způsobuje velké nárůsty teplot na spojkách, jelikož jsou provozovány ve velkém prokluzu) a jízdě zejména na nižší rychlostní stupně, je pro vyšší komfort jízdy vhodnější provoz spojky s prokluzem, přičemž je třeba zohlednit zahřívání spojek. Naopak pro sportovní jízdu při vyšších hodnotách točivého momentu motoru je vhodné provozovat spojku s minimálním prokluzem, případně s přetlakem. S ohledem na emise by však bylo vhodné nastavení provozu spojky bez prokluzu, nedocházelo by tak ke zvýšení ztrát v přenosu točivého momentu. S ohledem na dané aspekty byly realizovány zkoušky jak s proměnným prokluzem, tak s přetlakem spojky. Pro dostatečné ověření zvoleného nastavení regulace spojky byl manévr pokaždé opakován patnáctkrát a následně z těchto měření vypočten aritmetický průměr hodnocených parametrů. Manévr byl proveden i se základním nastavením spojky, opakován byl pětadvacetkrát a bylo ověřeno, že nedochází k výskytu náhodných jevů, které by mohly znehodnotit vyhodnocení.

4.1 PROVOZ S PŘETLAKEM SPOJKY 105%

Hodnota pro velikost přenášeného momentu spojkou byla zvolena tak, aby přetlak na spojce nebyl příliš vysoký. V případě, že by tomu tak bylo, mohlo by docházet k oscilacím zrychlení, jak bylo možné pozorovat v kapitole 3.7 a 3.8. Spojkou přenášený moment by s tímto nastavením měl dosahovat 105 % momentu motoru a díky tomu by nemělo být prodlouženo řazení z důvodu snižování přebytečného tlaku v přítlačném ventilu spojky. S takto nastaveným přítlakem spojky byl proveden jízdní manévr popsáný v kapitole 3.1.



Obr. 39. Průběh točivých momentů a stavu převodovky při 105% momentové kapacitě

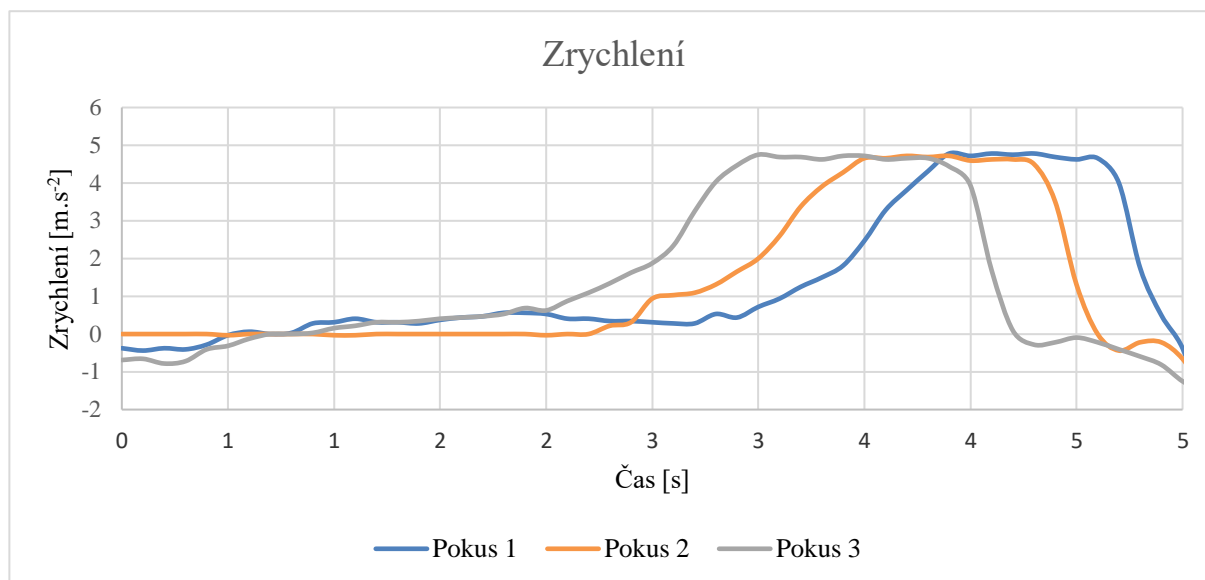
Na obrázku 39 lze pozorovat provoz spojek v záběru s přetlakem dle nastavení. S takto nastavenou regulací spojky bylo dosaženo následujících hodnot, uvedených v tabulce 2.

Z těchto naměřených hodnot je vypočítán aritmetický průměr a rozptyl hodnot, který bude použit pro porovnání s dalším nastavením regulace spojky.

	Nárůst teploty Δt [°C]	Gradient zrychlení [m.s ⁻³]	Čas řazení [s]
Pokus 1	2	3,097	0,800
Pokus 2	2	3,271	0,770
Pokus 3	2	3,158	0,790
Pokus 4	4	3,566	0,819
Pokus 5	4	3,058	0,820
Pokus 6	2	3,314	0,780
Pokus 7	2	3,229	0,770
Pokus 8	4	3,648	0,790
Pokus 9	4	3,547	0,800
Pokus 10	2	3,49	0,778
Pokus 11	2	3,956	0,758
Pokus 12	4	3,474	0,810
Pokus 13	4	3,791	0,791
Pokus 14	4	3,606	0,790
Pokus 15	4	3,653	0,790
Průměr	3,07	3,457	0,790
Rozptyl	2	0,898	0,062

Tab. 2. Hodnoty porovnávacích kritérií při přetlaku spojky 105 %

Z grafu zrychlení vyplývá, že při takto nastaveném přitlaku spojky nedocházelo ani k oscilaci zrychlení, ani k ojedinělým prudkým změnám podélného zrychlení, které by byly nepříjemné pro posádku vozidla.



Obr. 40. Průběh zrychlení při přetlaku spojky

4.2 PROVOZ S PROMĚNNÝM PROKLUZEM 1

Pro provoz s proměnným prokluzem bylo vytvořeno pole hodnot, které udává požadovanou velikost prokluzu při daných otáčkách motoru a daném točivém momentu motoru. Toto pole bylo aktivováno pro rychlostní stupně 1. – 4. Následně bylo toto pole

aplikováno do vozidla a testováno dle popisu v kapitole 3.1. Toto nastavení bylo zvoleno tak, aby docházelo k většímu prokluzu při nízkých otáčkách klikového hřídele, kdy dochází k nepravidelnosti chodu, ale zároveň nedocházelo k příliš velkým ztrátám v přenosu momentu. Při vysokých otáčkách jsou nepravidelnosti chodu motoru potlačeny, a proto nemusí být nastaven vysoký prokluz. Z tohoto důvodu a také pro snížení nárůstu teploty na spojkách je prokluz při vyšších otáčkách a hodnotách točivého momentu snížen na minimum. Pro záporné hodnoty motorového momentu (případ brždění motorem) byl nastaven prokluz tak, aby bylo možné spojku vhodně regulovat pro případ řazení a dále pro ochranu částí motoru při náhlých změnách úhlových rychlostí kol.

Nm/min ⁻¹	900	1000	1500	2000	3000	4000
-20	3	3	3	3	3	3
-10	3	3	3	3	3	3
0	3	3	3	3	3	3
10	4	4	4	4	4	4
50	4	4	4	4	4	4
120	4	4	4	4	4	4
180	4	4	4	4	0	0
250	0	0	0	0	0	0

Tab. 3. Nastavení proměnného prokluzu

S nastavenou regulací spojky dle tabulky 3 byl proveden jízdní experiment podle kapitoly 4. Následují výsledky z měření v tabulce 4.

	Nárůst teploty Δt [°C]	Gradient zrychlení [m.s ⁻³]	Čas řazení [s]
Pokus 1	4	3,770	0,712
Pokus 2	4	4,190	0,730
Pokus 3	2	4,369	0,719
Pokus 4	2	3,753	0,780
Pokus 5	2	4,421	0,694
Pokus 6	6	4,094	0,770
Pokus 7	4	4,347	0,760
Pokus 8	4	4,306	0,759
Pokus 9	2	4,453	0,740
Pokus 10	2	3,953	0,748
Pokus 11	2	4,061	0,780
Pokus 12	2	3,998	0,770
Pokus 13	3	4,275	0,740
Pokus 14	4	3,331	0,741
Pokus 15	4	3,461	0,779
Průměr	3,13	4,052	0,749
Rozptyl	4	1,122	0,086

Tab. 4 Hodnoty porovnávaných kritérií při proměnném prokluzu 1

Dle měřených dat v tabulce 4 při provozu s proměnným prokluzem došlo k průměrně vyššímu nárůstu teploty na spojce, avšak tento nárůst byl minimální. Naopak v případě

gradientu zrychlení a času řazení se v průměru hodnoty zlepšily. Co se však ukázalo jako nevýhoda je menší stabilita hodnocených parametrů, rozptyl při provozu s prokluzem je ve všech třech případech vyšší.

Dle subjektivního hodnocení posádky bylo však chování vozu při nastaveném prokluzu plynulejší a pro jízdu celkově příjemnější. Při křížení spojek se do jízdy neprojevovaly, tak výrazně, jako v případě s přetlakem, rozdíly v úhlových rychlostech spojky a setrvačníku.

4.3 PROVOZ S PROMĚNNÝM PROKLUZEM 2

Nm/min ⁻¹	900	1000	1500	2000	3000	4000
-20	3	3	3	3	3	3
-10	3	3	3	3	3	3
0	10	10	7	7	5	5
10	10	10	7	7	4	4
50	10	10	7	7	4	4
120	7	7	7	7	4	4
180	3	3	3	2	2	2
250	3	3	3	2	2	2

Tab. 5. Nastavení proměnného prokluzu 2

Tabulka 5 udává hodnoty parametru, který umožňuje proměnný prokluz na základě motorového momentu a otáček klikového hřídele. Hodnoty motorového momentu byly nastaveny od minima -20 Nm (případ brždění motorem) po maximální hodnotu točivého momentu, kterého je motor schopný dosáhnout: 250 Nm, stejně jako při nastavení proměnného prokluzu 1. Takto nastavená regulace spojky by měla v nízkých otáčkách motoru tlumit nepravidelnosti chodu a ve vyšších otáčkách by nemělo docházet k přenosovým ztrátám a nadměrnému zahřívání spojek. Z důvodu neuspokojivých výsledků s předchozím nastavením byly hodnoty prokluzu zvýšeny.

Vyhodnocení jízdního manévru:

	Nárůst teploty Δt [°C]	Gradient zrychlení [m.s ⁻³]	Čas řazení [s]
Pokus 1	2	3,263	0,831
Pokus 2	4	4,000	0,780
Pokus 3	4	3,803	0,780
Pokus 4	2	4,087	0,759
Pokus 5	4	3,393	0,758
Pokus 6	3	4,022	0,759
Pokus 7	3	4,151	0,750
Pokus 8	2	3,885	0,819
Pokus 9	4	3,717	0,801
Pokus 10	3	3,834	0,798
Pokus 11	4	4,353	0,721
Pokus 12	5	4,094	0,790
Pokus 13	4	4,191	0,769
Pokus 14	4	3,579	0,810
Pokus 15	5	4,033	0,770
Průměr	3,53	3,894	0,780
Rozptyl	3	1,09	0,11

Tab. 6. Hodnoty porovnávaných kritérií při proměnném prokluzu 2

Podle tab. 6 je stabilita hodnotících parametrů s vyšším prokluzem nižší než v předchozích případech a ve srovnání s provozem spojky v přetlaku nastalo zlepšení v délce trvání řazení a gradientu zrychlení. Ve srovnání s menším variabilním prokluzem došlo ke zhoršení všech tří hodnotících parametrů. Jízda s vyšším prokluzem je však pro posádku pohodlnější, protože křížení spojek při řazení je ve voze méně citelné a jízda byla plynulejší.

4.4 NÁVRH OPTIMÁLNÍHO PŘÍTLAKU SPOJKY

Na základě měřených dat z kapitol 4.1 až 4.3 vyplývá, že optimální nastavení provozu spojky je s mikro-prokluzem. Při experimentech s nastaveným přetlakem spojky byl průměrně nejnižší nárůst teploty na spojce, avšak gradient zrychlení a doba řazení nedosahují s tímto nastavením hodnot, kterých bylo dosaženo při nastavení s prokluzem. Ovšem s nastavením spojky v přetlaku nedochází ke ztrátám přenosu výkonu mezi spojkou a setrvačником, proto by tato varianta měla být nejvýhodnější z pohledu emisí výfukových plynů vypouštěných do ovzduší a také nejšetrnější ke spojkovému obložení.

Přesně opačně je v případě provozu spojky s prokluzem. Zahřívání spojek a ztráty v přenosu jsou vyšší než v případě provozu spojky s přetlakem, ale řazení probíhá za kratší čas a gradient zrychlení je vyšší. Celkový jízdní projev s prokluzem je plynulejší a pro posádku vozu příjemnější.

V případě nastavení spojky s prokluzem č. 1 vycházejí všechny tři hodnotící parametry lépe než v případě druhého nastavení s vyšším prokluzem. Na základě těchto hodnot je tato varianta řízení spojek nejlepší, ale dle subjektivního pocitu řidiče byl jízdní projev lepší s variantou 2.

Pro získání ideálního přítlaku spojky byla vytvořena další tři datová pole s proměnným prokluzem, které byly testovány podle jízdního manévru popsaného v kapitole 3.1. Tato pole byla nastavena tak, aby bylo dosaženo výhod obou již testovaných datových polí. Což znamená nízký nárůst teploty na spojkách, vysoký gradient zrychlení a nejkratší doba podřazení ve spojení s plynulým křížením spojek a omezení přenosu nepravidelností chodu motoru. S každým z těchto nastavení byl jízdní manévr opakován patnáctkrát, následně vyhodnoceny výsledky. Pro zjednodušení je každé z polí označeno „TP“ s příslušným číslem 1-3.

TP 1						
Nm/Min ⁻¹	900	1000	1500	2000	3000	4000
-20	5	5	5	5	5	5
-10	5	5	5	5	5	5
0	8	8	5	5	4	4
10	8	8	5	5	2	2
50	8	8	5	4	2	2
120	8	8	5	4	2	2
180	3	3	3	0	0	0
250	3	3	3	0	0	0

Tab. 7. TP 1 s nastavením proměnného prokluzu

TP 2						
Nm/Min ⁻¹	900	1000	1500	2000	3000	4000
-20	5	5	5	5	5	5
-10	5	5	5	5	5	5
0	6	6	4	4	4	4
10	6	6	4	4	2	2
50	6	6	4	4	2	2
120	6	6	4	4	2	2
180	3	3	3	0	0	0
250	3	3	3	0	0	0

Tab. 8. TP 2 s nastavením proměnného prokluzu

TP 3						
Nm/Min ⁻¹	900	1000	1500	2000	3000	4000
-20	5	5	5	5	5	5
-10	5	5	5	5	5	5
0	7	7	7	7	5	5
10	7	7	7	7	4	4
50	5	5	5	5	3	3
120	5	5	5	5	3	3
180	3	3	3	2	2	2
250	3	3	3	2	2	2

Tab. 9. TP 3 s nastavením proměnného prokluzu

Výsledky jízdních manévřů s každým TP jsou následující:

	Nárůst teploty Δt [°C]	Gradient zrychlení [m.s ⁻³]	Čas řazení [s]
TP 1			
Průměr	3,2	3,133	0,765
Medián	3,0	3,118	0,769
Rozptyl	3,0	0,780	0,082
TP 2			
Průměr	3,4	3,713	0,772
Medián	4,0	3,718	0,778
Rozptyl	3,0	0,325	0,072
TP 3			
Průměr	3,2	3,480	0,761
Medián	4,0	3,437	0,768
Rozptyl	2,0	0,474	0,112

Tab. 10. Výsledky měření pro optimální přítlak spojky

V tabulce 10 je pozorovatelné, že všechny tři způsoby regulace přítlaku spojky jsou si svými výsledky měření podobné. Navzdory vyššímu prokluzu při vyšším výkonu a otáčkách motoru v případě TP 3 je průměrná hodnota nárůstu teploty na spojce stejná jako v případě TP 1. Medián má sice vyšší hodnotu, ale rozptyl je menší. TP 2 by se dalo označit jako nejméně vhodné nastavení, protože s tímto nastavením dochází k vysokému nárůstu teploty na spojkách a doba řazení je nejvyšší. Při nastavení přítlaku dle TP 1 vůz dosahuje příliš nízkého gradientu zrychlení. Nejlepších výsledků však bylo dosaženo s nastavením uvedeným v kapitole 4.1 „Provoz s proměnným prokluzem 1“, nevýhodou tohoto nastavení však je citelné křížení spojek při řazení. V případě provozu s TP 3 není dosahováno tak dobrých výsledků, ale křížení spojek při řazení se neprojevuje do jízdy a není tím rušena posádka vozidla.

Pro autora diplomové práce na základě poznatků z měřených dat a ze zkušeností při jízdě s mnoha různými nastaveními regulace přítlaku spojky vychází jako nejlepší varianta označená jako TP 3.

TP 3						
Nm/Min ⁻¹	900	1000	1500	2000	3000	4000
-20	5	5	5	5	5	5
-10	5	5	5	5	5	5
0	7	7	7	7	5	5
10	7	7	7	7	4	4
50	5	5	5	5	3	3
120	5	5	5	5	3	3
180	3	3	3	2	2	2
250	3	3	3	2	2	2

Tab. 9. TP 3 s nastavením proměnného prokluzu

Nasazení tohoto nastavení do sériového vozu by však vyžadovalo dlouhodobé testování z pohledu opotřebení spojkových lamel, které však není z časových důvodů možné zahrnout do této diplomové práce. Další překážkou nasazení do sériových vozů by mohlo být splnění emisních limitů. Hodnocení dopadu vyššího prokluzu do měření emisí lze provést při homologaci vozu, což je časově, a hlavně finančně náročný úkol, proto do diplomové práce tato část zahrnuta nebyla.

5 ANALÝZA DOPADU REGULACE SPOJKY NA AKUSTIKU

Měření akustiky proběhlo ve spolupráci s kolegou z oddělení EPG/4, které se zabývá hlučností ozubení manuálně ovládaných převodovek vozů ŠKODA AUTO. Pro úplné ověření dopadu regulace na akustiku bylo měření provedeno se všemi dosud testovanými způsoby regulace spojek v kapitole 4.4., které bylo porovnáno se základním nastavením regulace spojek a dále s provozem spojek v přetlaku. Což znamená, že pro regulaci spojky bylo použito nastavení:

- základní nastavení -- prokluz 5 min^{-1} ,
- přetlak 105 %,
- TP 1,
- TP 2,
- TP 3.

Tato nastavení spojky byla porovnávána ve třech případech. První měření proběhlo na zahřátém vozidle, kdy před testem bylo vozidlo zahřáto na provozní teplotu. Pro další měření bylo využito teplotní komory, kam bylo vozidlo zaparkováno a přes noc vychlazeno na -27°C , kdy další den ráno, v rámci ověření vlivu regulace na hluk a vibrace, bylo provedeno měření na takto vychlazeném voze. V obou případech byl vliv regulace ověřován pomocí jízdního manévru popsaného v kapitole 3.1.

5.1 POPIS MĚŘENÍ

Pro zjištění vlivu regulace spojek na akustiku v kabině vozu lze použít mnoho způsobů metodiky měření, protože převodovky v osobním automobilu jsou zdroje hluku šířícího se jak vzduchem, tak vedením skrze díly karoserie vozu. Měření vlivu regulace na akustiku v kabině bylo prováděno ve zkušebním automobilu, kterým byl VW New Bora. Tento vůz je určen pro čínský trh a tyto vozy mají, oproti vozům určeným pro evropský trh, snížené řadící body, a proto jsou náchylnější na chrastění převodovek.

Motor	
Objem [cm^3]	1395
Počet válců	4
Vrtání [mm]	74,5
Zdvih [mm]	80
Max. výkon [kW]	110
Max. točivý moment [Nm]	250

Tab. 11. Technická data motoru zkouškového vozu

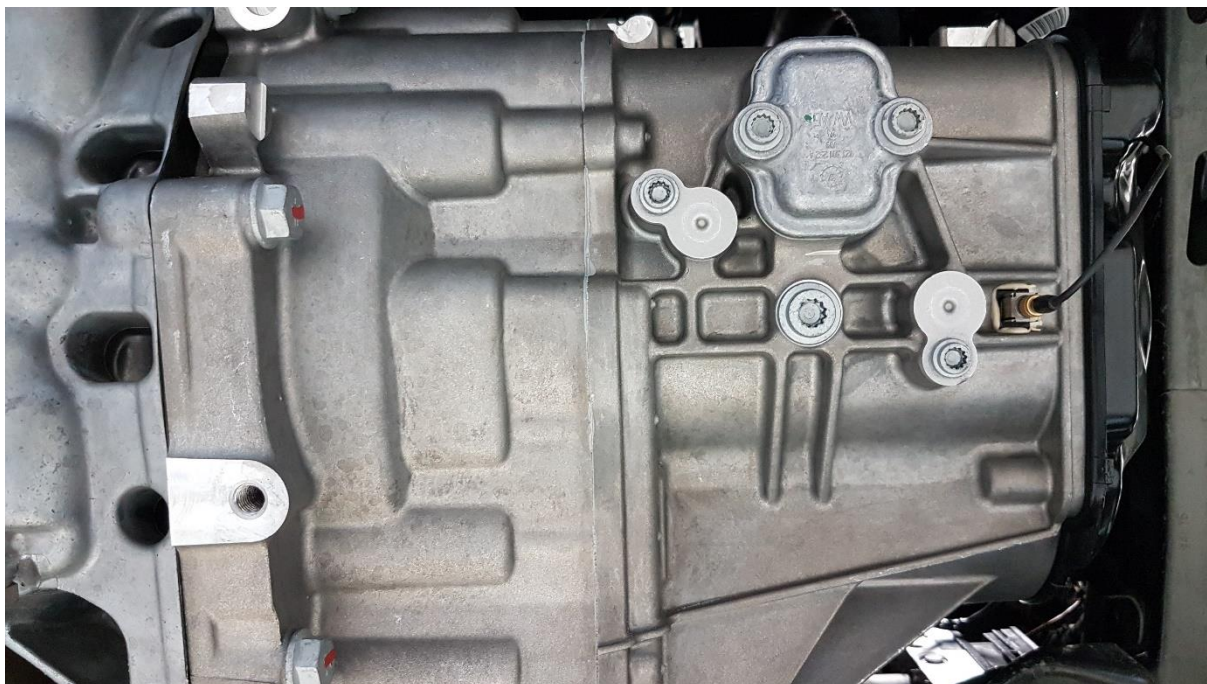
Převodovka	
Typ	DQ200
Stálý převod	71:16
	71:22
	71:17
1. rychlostní st.	64:17
2. rychlostní st.	50:22
3. rychlostní st.	49:32
4. rychlostní st.	46:41
5. rychlostní st.	40:34
6. rychlostní st.	39:41
7. rychlostní st.	35:44
Zpětný chod	45:22

Tab. 12. Technická data převodovky zkuškového vozu

Měření bylo prováděno pomocí dvou mikrofonů, umístěných v oblasti hlavy řidiče a spolujezdce, přichycených pomocí přísavek k oknům ve dveřích. Dalším snímačem použitým pro vyhodnocení akustiky byl tříosý akcelerometr, připevněný na skříň převodovky v místě uložení hnacích hřídelů do ložisek. Tento snímač byl použit pro kontrolu správnosti naměřených dat, jelikož mezi vibracemi a akustickým tlakem neexistuje jednoznačná korelace.



Obr. 41. Ilustrační foto umístění mikrofonů ve vozidle.



Obr. 42. Ilustrační foto umístění tříosého akcelometru

Hladina akustického tlaku v místě hlavy řidiče a spolujezdce byla měřena pomocí dvou mikrofonů, které byly před měřením kalibrovány. Záznam probíhal pomocí softwaru DEVE soft.

Jízdní manévry, popsaný v kapitole 3.1., byl pro každé nastavení regulace spojky změřen dvakrát, jak v případě zahřátého vozu na provozní teploty, tak v případě vychlazeného vozu na $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Více opakování měření nebylo z důvodu vytíženosti klimatické komory a zahřívání vozu možné. Hlavním hodnotícím parametrem bude hladina akustického tlaku naměřená pomocí mikrofonů v oblasti hlavy řidiče a spolujezdce.

5.2 VYHODNOCENÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU V OBLASTI HLAVY ŘIDIČE

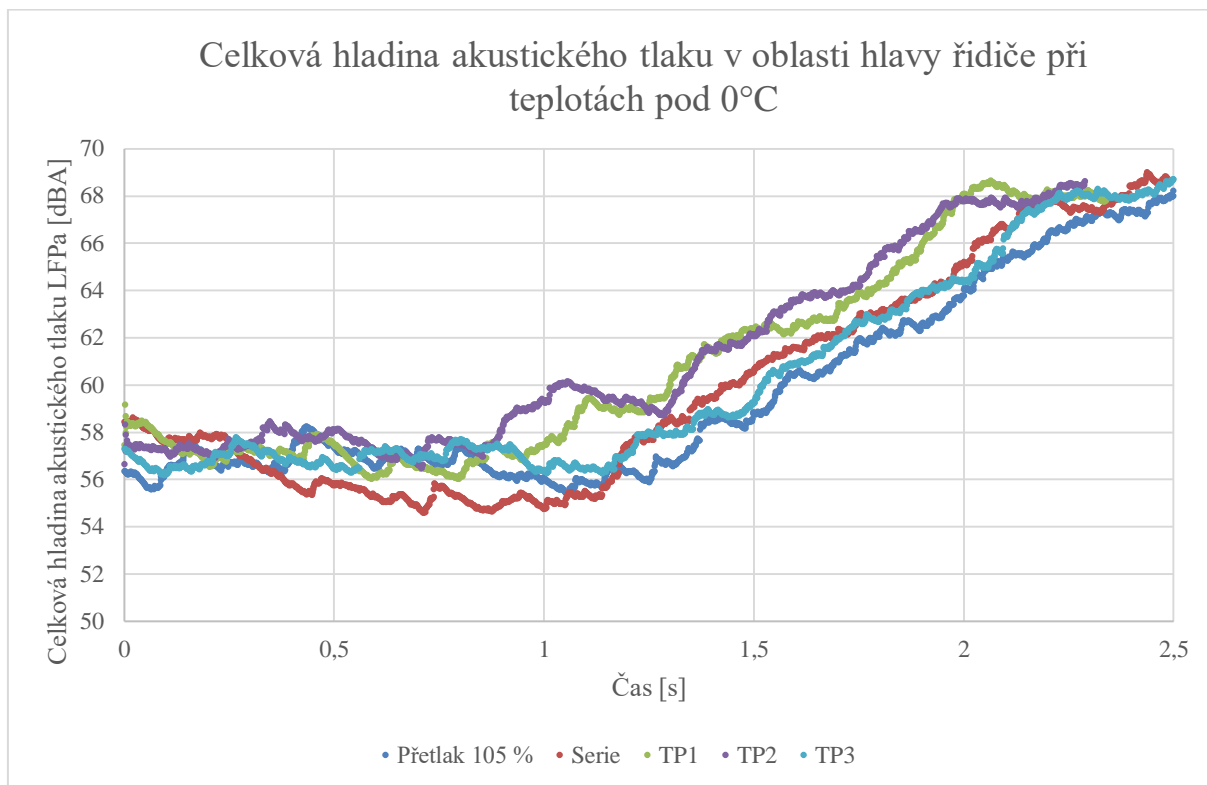
Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, hlavním parametrem pro posouzení vlivu regulace převodovek bude akustický tlak v oblasti hlavy řidiče. Jako první byl vyhodnocený jízdní pokus popsaný v kapitole 3.2 s autem temperovaným na $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$, následně byl provedený jízdní manévry s autem zahřátým na provozní teplotu (teplota chladicí kapaliny motoru $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplota oleje v převodovce $40\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Měření bylo provedeno se vzorkovací frekvencí $51,2\text{ kHz}$.

5.2.1 HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU PŘI TEPLITÁCH PŘEVODOVKOVÉHO OLEJE POD $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Z důvodu dostupnosti dat a zkrácení měření po výjezdu z klimatické komory, bude celková hladina akustického tlaku při podřazení vyhodnocována pouze do 3200 min^{-1} motoru.

Na obrázku 43 lze pozorovat, že maxima hladiny akustického tlaku jsou ve všech pěti případech téměř stejná. Kritérium maxima akustického tlaku v tomto případě nelze použít jako rozhodující, jelikož člověk dokáže rozlišovat pomocí sluchu rozdíly 2 dBA a více. Na základě průběhu velikosti celkové hladiny akustického tlaku lze však hodnotit, že nejlepší variantou, z pohledu hladiny akustického tlaku při nízkých teplotách okolí a studeném vozidle, je současný sériový stav, tzn. ustálený prokluz 5 min^{-1} . Vliv zahřívání oleje

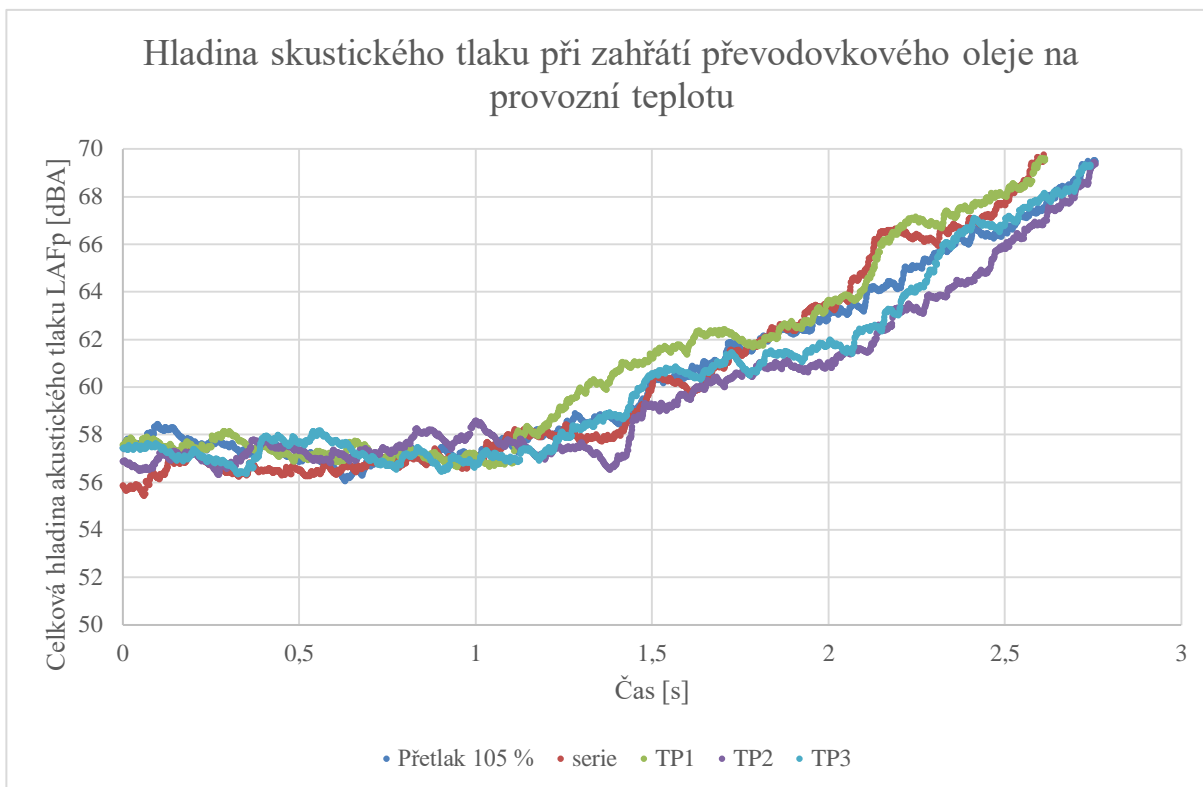
v převodovce z $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ v průběhu měření pokusu lze zanedbat, protože měření se sériovým nastavením probíhalo jako první s nejnižší teplotou převodovkového oleje. Při provozu s přetlakem lze očekávat lepší průběh hladiny akustického tlaku, z důvodu pevného spojení spojky a setrvačníku, čímž je zabráněno chrastění převodových kol. Nejhorší nastavení z hlediska akustického tlaku je v případě aplikace TP2. Již při nízkých otáčkách je hladina akustického tlaku o 2 – 3 dBA vyšší, než v případě sériového nastavení, popř. nastavení s přetlakem.



Obr. 43. Průběh hladiny akustického tlaku v oblasti hlavy řidiče s různým nastavením regulace spojky při teplotě oleje kapaliny pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

5.2.2 HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU PO ZAHŘÁTÍ OLEJE V PŘEVODOVCE NA PROVOZNÍ TEPLITU

Jízdní manévr popsaný v kapitole 3.1 byl proveden i se zahřátým automobilem na provozní teplotu, tzn. teplota chladicí kapaliny motoru o teplotě $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, teplota motorového oleje $90 - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplota oleje v převodovce o teplotě $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při tomto pokusu bylo opět použito všech pět dříve zmíněných nastavení spojek a pro každý z nich byla vyhodnocena celková hladina akustického tlaku v oblasti hlavy řidiče. Průběh hladin akustického tlaku lze vidět na obrázku 44. V tomto případě maxima hladin dosahují stejné hodnoty v oblasti maximálních otáček motoru. Maximální hodnota otáček motoru byla v tomto případě stanovena na 3500 min^{-1} . Při porovnání s průběhem hladiny akustického tlaku v předchozí kapitole lze pozorovat velmi podobný průběh a téměř stejné maximální hodnoty, pokud je brána v úvahu vyšší hodnota motorových otáček.



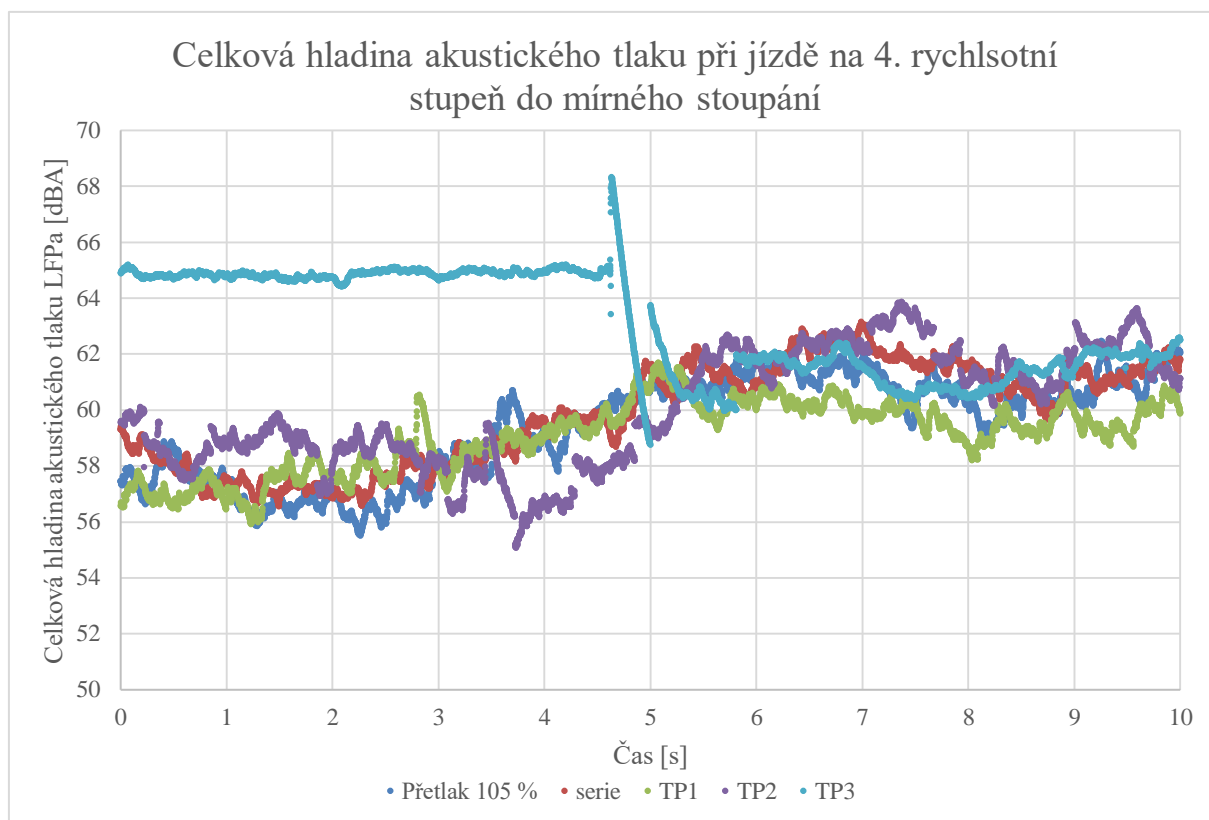
Obr. 44. Hladina akustického tlaku v průběhu jízdního manévru při provozní teplotě převodovkového oleje.

5.2.3 HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU PŘI STÁLÉ JÍZDĚ NA 4. RYCHLOSTNÍ STUPEŇ

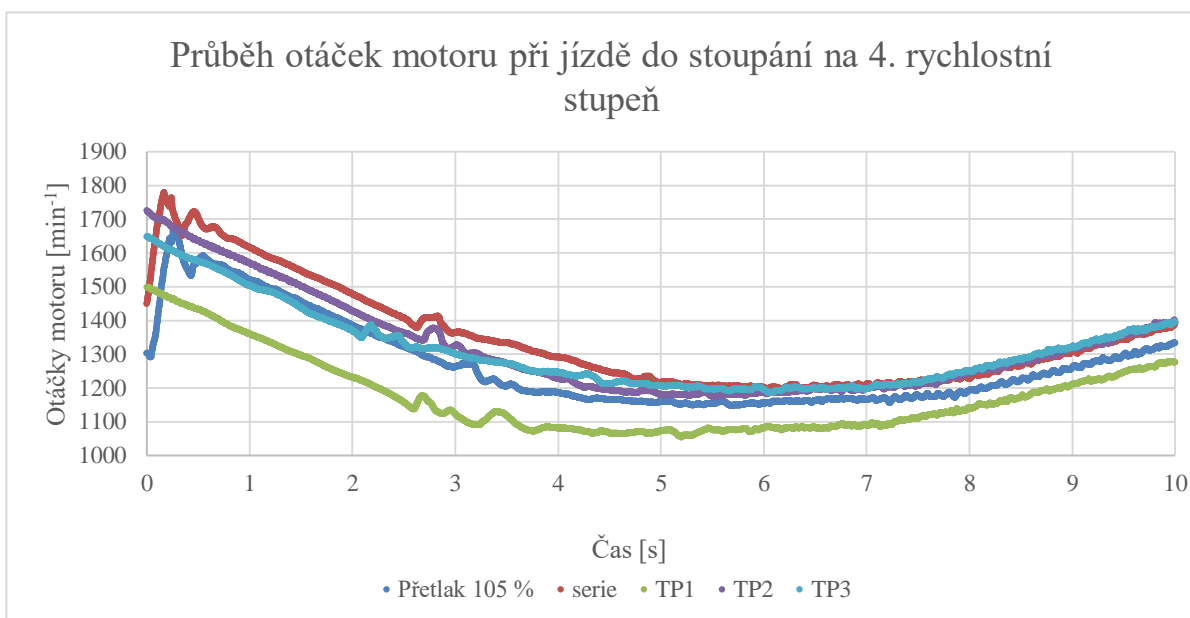
Pro úplné stanovení vlivu regulace spojek na velikost celkové akustické hladiny v oblasti hlavy řidiče bylo provedeno měření na vozovce se 7% stoupáním při nízkých otáčkách motoru a konstantním nášlapem plynového pedálu, při kterých by se případně vzniklé chřastění převodovky mohlo projevit nejvíce. Při předchozích dvou pokusech byly výsledky měření velmi podobné a nedalo se na základě měření určit jednoznačný vliv regulace spojek na celkovou hladinu akustického tlaku, protože motor a jeho vibrace, spalovací proces atd. byly dominantním zdrojem hluku v kabině.

Popis jízdního manévru: Jízda po hladké vozovce s průměrným stoupáním 7 % na 4. rychlostní stupeň. Nášlap plynového pedálu 20–30 % v závislosti na stoupání se snahou o udržení konstantních otáček motoru.

Jak lze pozorovat na obrázku 45, měření při nastavení regulace spojek podle TP3 je ze začátku rušeno hlukem okolí (projíždějící auta) a následně je vidět navýšení celkové hladiny v důsledku přejezdu nerovností vozovky v čase 4,7 s. Od času 5 s lze konstatovat, že hladina akustického tlaku je, ve srovnání s ostatními způsoby provozu spojek, velmi podobná a celkový vliv je zanedbatelný. Porovnáváný byl však úsek měření o délce 10 s, z důvodu možného výskytu vyšší hladiny akustického tlaku v měřeném otáčkovém pásmu motoru (obr. 46). Při pohledu do grafu celkové hladiny akustického tlaku lze nabýt dojmu, že v případě způsobu regulace dle nastavení TP1 je hladina akustického tlaku nejnižší. Tento jev je však způsobený nižšími otáčkami motoru, v případě, že by tomu bylo naopak a hladina by byla vyšší, dalo by se mluvit o vlivu regulace převodovky.



Obr. 45. Průběh celkové hladiny akustického tlaku v místě hlavy řidiče při jízdě na 4. rychlostní stupeň do mírného stoupání.



Obr. 46. Průběh motorových otáček při jízdě na 4. rychlostní stupeň do mírného stoupání.

5.3 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ AKUSTIKY

V kapitolách 5.2.1 až 5.2.3 byly shrnuty výsledky měření celkové hladiny akustického tlaku při různých způsobech regulace spojek převodovky DQ200. Dle subjektivního pocitu posádky při měření s různými způsoby regulace nebylo rozhodnuto v prospěch ani jedné z variant. Při pohledu do grafů celkových hladin akustického tlaku taktéž nelze rozhodnout o jednoznačně nejlepším způsobu regulace z hlediska akustiky na základě zvoleného kritéria.

Pro podrobnější zjištění vlivu převodovky na hluk a vibrace by mohla být použita metoda FFT, která by stanovila podrobnější vliv regulace na hluk způsobený převodovkou, a také by se mohl posoudit vliv regulace na vibrace převodového ústrojí.

Na základě výsledků měření bylo rozhodnuto, že různé způsoby regulace nemají podstatný vliv na posádku z hlediska akustiky. Měřením bylo ověřeno, že zvolené regulace spojek nemají zásadní vliv na hluk v kabině. Dříve než se do kabiny stihne projevit regulace spojek, je jejich vliv přehlušen hlukem motoru, rázy od podvozku v důsledku nekvalitní vozovky a odvalováním se pneumatik po vozovce. Z tohoto důvodu bude nejvhodnější způsob regulace zvolen na základě jízdních dat měřených v kapitole 4.

ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na způsob regulace rozjezdových spojek u osobních automobilů a na navržení optimálního způsobu regulace suchých lamelových spojek převodovky DQ200.

Z výsledků jednotlivých kapitol vyplývá, že jednoznačně nejlepší způsob regulace spojek převodovky DQ200 neexistuje. Jak provoz s přetlakem, tak s mikro-prokluzem má své nevýhody a výhody. Pro zvolení provozu spojky v přetlaku hovoří výhody v podobě nízkého nárůstu teplot na spojkách při řazení a eliminace ztrát v přenosu mezi spojkou a setrvačником. Avšak tento způsob provozu spojek se ukázal nevhodný z již uvedených důvodů v kapitole 4. Provoz spojek s prokluzem taktéž není dokonalé řešení, nevýhody spočívají ve vyšším zahřívání spojkového obložení, ztrátě účinnosti přenosu točivého momentu a vyšším opotřebením spojek. Jízdní zkoušky však prokázaly, že z pohledu jízdního komfortu, času řazení a gradientu zrychlení je vhodnější provozovat spojku s prokluzem.

Na základě poznatků z praxe a z měření prováděných i mimo rozsah diplomové práce autor dospěl k závěru, že nejvhodnější bude provozovat spojku s prokluzem při nízkém zatížení, aby nedocházelo k projevům nepravidelnosti chodu motoru v nízkých otáčkách, zejména u tříválcových motorů 1.0 TSI, které jsou už z principu své konstrukce nevyvážené a k zážehu dochází jednou po 240° otočení klikového hřídele. Naopak, při vyšších otáčkách motoru, je prokluz spojek, co možné nejvíce eliminován, pro co nejlepší přenos výkonu na kola a zamezení přehřívání spojek. Při zachování této filozofie byly vytvořeny 3 datová pole provozu spojek s prokluzem, která se lišila velikostí prokluzu v závislosti na točivém momentu motoru a otáčkách klikového hřídele motoru. Z těchto tří polí bylo vybráno nejvhodnější pro použití v sériovém stavu vozidla, na základě parametrů zvolených pro hodnocení jízdního projevu vozidla.

Následně bylo provedeno měření akustiky s různými druhy regulace spojek, aby byl vyloučen snížený akustický komfort při provozu s proměnným prokluzem. Současně bylo využito klimatické komory, protože k chřastění převodovky dochází zejména při nízkých teplotách. Při jízdním manévru, kdy po plynulé jízdě na třetí rychlostní stupeň, po rovné vozovce, dojde k plnému sešlápnutí plynového pedálu na 100 %, nastane podrážení na druhý rychlostní stupeň a k plné akceleraci vozu. V tomto případě však nebyl jasně prokázán vliv na celkovou hladinu akustického tlaku v oblasti řidičovy hlavy, jelikož majoritní část zdroje celkového hluku v kabině vozu byl motor. Proto byl zvolen jiný jízdní manévr, který eliminoval vliv motoru na měření. Při tomto měření nebyl prokázán zásadní vliv na hladinu akustického tlaku v kabině vozu, v místě hlavy řidiče. Posádka vozu (řidič + spolujezdec) nedokázala ani na základě subjektivního pocitu rozhodnout, která z variant regulace je z hlediska akustiky nejlepší, a proto bylo o nejlepším způsobu rozhodnuto na základě jízdních dat vyhodnocených v kapitole 4.

Nejvhodnější způsob regulace spojek, na základě měřených dat, byl zvolen pomocí datového pole s označením TP3, které umožňuje vyšší hodnotu prokluzu při nízkých otáčkách motoru a od něj dodávaného točivého momentu, než je základní nastavení s konstantním prokluzem 5 min⁻¹. Naopak při vyšších otáčkách a dodávaném točivém momentu je velikost prokluzu snížena, aby bylo dosaženo vyšší účinnosti v přenosu momentu mezi lamelou spojky a setrvačником, dále je tímto předejito nadbytečnému opotřebením spojek a s tím spojeným zahříváním. Nasazení tohoto způsobu regulace do sériového softwaru převodovek by však

vyžadovalo dlouhodobé ověřování na jízdních zkouškách, které jsou součástí uvolnění softwaru do sériových vozů. To však z časových důvodů není možné zohlednit v této práci.

TP 3						
Nm/Min ⁻¹	900	1000	1500	2000	3000	4000
-20	5	5	5	5	5	5
-10	5	5	5	5	5	5
0	7	7	7	7	5	5
10	7	7	7	7	4	4
50	5	5	5	5	3	3
120	5	5	5	5	3	3
180	3	3	3	2	2	2
250	3	3	3	2	2	2

Tab. 9. TP 3 s nastavením proměnného prokluzu vyhodnocené jako nejlepší způsob provozu spojek převodovky DQ200.

Pro dosažení lepší kontroly prokluzu by bylo vhodné pro zvolené datové pole přidat sloupce pro lepší rozložení velikosti prokluzu v celém rozsahu otáčkového pásma motoru. Toho by bylo možné dosáhnout změnou programování daného softwaru, které by bylo opodstatněno úspěšnými dlouhodobými zkouškami datového pole v tabulce 9.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] DSG. Suvik.cz [online]. Buštěhrad: suvik.cz, 2015 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://suvik.cz/clanky/jake-problemy-pusobi-dsg.html>
- [2] VLK, František a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Převodová ústrojí motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0025-0.
- [3] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily*. 7. vydání. Brno: Nakladatelství Avid, spol. s r. o., Brno, 2012. ISBN 978-808-7143-216.
- [4] JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B. *Automobily 2: Převody*. AVID, Brno 2001.
- [5] HILTON, John A. Force and torque converter. *Patents.google.com* [online]. USA: Spacetec IMC Corporation, 2014 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US5591924A/en>
- [6] Automatická převodovka. *Cs.wikipedia.org* [online]. wikipedia.org, 2019 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Automatická_převodovka
- [7] REIK, Dr. Wolfgang. *Solving the powertrain puzzle: 10th Schaeffler Symposium* [online]. 10. Herzogenaurach, Germany: Schaeffler Technologies GmbH & Co., 2014 [cit. 2020-03-10]. ISBN DOI 10.1007/978-3-658-06430-3. Dostupné z: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-06430-3>
- [8] DSG. *Volkswagen.com* [online]. Wolfsburg, 2019 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.com.sg/technology/dsg>
- [9] VOLKSWAGEN AG. *The 7-speed Double-clutch Gearbox 0AM: Service Training*. Wolfsburg, 2007.
- [10] MACHÁČEK, Kamil. *Spojky osobních automobilů* [online]. Brno, 2010 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/2349>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Zdeněk Kaplan
- [11] Dual-mass flywheel with centrifugal pendulum absorber. *Youtube.com* [online]. 2019 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=YRxrajJCLr0&t=390s>
- [12] Clutch system. *Cusco USA* [online]. Huntington Beach, CA 92647, 2018 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <http://www.cuscousainc.com/support.html>
- [13] GRIMES, Michael R., Jack P. KOSKI a William V. VUKOVICH. Controlled capacity torque converter clutch. *Patents.google.com* [online]. USA, 2004 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US4582185A/en>

- [14] DUNFEE , II, Jeffrey S ., Andrew HART, Simon FITZGERALD a Michael GALLION. Method for non-microslip based dual clutch transmission power on up shift. *Patents.google.com* [online]. 2016, 23.5.2016 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US10065649B2/en>
- [15] NEUBAUER, Thomas. DQ200 Softwaredokumentation U16: Auftraggebende Abteilung VW EAHA/4 Getriebeelektronik. 1. Wolfsburg: ©Volkswagen AG u. IAV, 2017.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

M_s	[Nm]	Spojkový moment
M_{mot}	[Nm]	Točivý moment motoru
μ	[-]	Součinitel tření
ACC	[-]	Adaptivní tempomat
F	[N]	Síla
F_t	[N]	Třecí síla
i	[-]	Počet třecích ploch
k_s	[-]	Provozní součinitel
p	[Pa]	Tlak
RRD	[-]	Detektor nerovné vozovky
r_s	[mm]	Účinný poloměr spojky
S	[m ²]	Plocha
TP	[-]	Datového pole pro řízení spojky